ELEMENTI
DI FISICA

E SUE

PRINCIPALI APPLICAZIONI

DI

LEONARDO DOVERI

Dottore in Scienze Fisiche e Naturali
Prof. di Fisica e Chimica
nel R. Liceo Militare Arciduca Ferdinando

DESTINATI PARTICOLARMENTE AGLI ALUNNI DEI LICEI
DELLE SCUOLE TECNICHE E DEI COLLEGJ

VOL. I.

FIRENZE
TIPOGRAFIA GALILEIANA
di M. Cellini e C.

1854

A SUA ECCELLENZA

IL GENERALE CONTE LUIGI SERRISTORI

—

OMAGGIO DELL' AUTORE

ELEMENTI DI FISICA

E

SUE PRINCIPALI APPLICAZIONI

NOZIONI PRELIMINARI

La Fisica, nel significato più ampio della parola, è quella scienza che si occupa delle proprietà dei corpi, dei cambiamenti che in essi avvengono, delle leggi di questi cambiamenti, e delle forze che li determinano. Questo immenso campo era una volta del dominio di una sola scienza, che gli [illegible] chiamavano *filosofia naturale* o *scienza della natura*; ma a misura che le cognizioni sopra gli esseri e i fenomeni naturali sono andate moltiplicandosi, nuove scienze si sono formate a comprenderle. I corpi posseggono delle proprietà caratteristiche, che servono a distinguerli l'uno dall'altro, a *specificarli*, come si dice; e queste spettano alla storia naturale, la quale in altre scienze è divisa, cioè in zoologia, botanica e mineralogia, secondo che gli esseri presi ad esaminare appartengono al regno animale, al vegetabile o al minerale.

Le proprietà di cui si occupa la Fisica propriamente detta appartengono a tutti i corpi indistintamente: tali sono l'estensione, l'impenetrabilità, la divisibilità, la porosità e l'inerzia.

I cambiamenti che avvengono nei corpi non sono tutti del dominio della Fisica. Quelli delle masse planetarie, nel grande

sistema dell'universo sono studiati dall'astronomia. I fenomeni che si operano fra le ultime parti dei corpi, che succedono solo nello intimo contatto di queste, e vengono a produrre un cambiamento stabile, appartengono alla chimica. Così, per esempio, se si prende un frammento di un corpo che i chimici chiamano ioduro di potassio, e si pone in contatto di un frammento di un altro corpo distinto dai medesimi col nome di sublimato corrosivo, non vedesi alcun cambiamento apparire su i due frammenti. Se si polverizzano, e si mescola intimamente la loro polvere, neanco apparisce alcuna alterazione o trasformazione nelle due materie; ma se si sciolgono i due frammenti nell'acqua, e si mescolano le soluzioni, i due liquidi limpidissimi producono una polvere di un bellissimo rosso, la quale a poco a poco si deposita. Ciò accade perchè col disciogliere i due corpi, essi prendono il maggior grado possibile di divisione, e quindi nel mescolare i due liquidi, le più piccole loro particelle trovansi ad intimo contatto, e possono quindi reagire fra loro, e produrre un fenomeno permanente, qual'è quello della formazione di un corpo rosso. Questo fenomeno è dunque di natura chimica. Se invece si prende un cannello di ceralacca e si confrica con della lana; poi si avvicina a dei sottili ritagli di carta o di paglia o di altra sostanza leggiera, si vede che li attira e li ritiene. Frattanto il cannello di ceralacca non ha cambiato natura, e di più perde l'acquistata proprietà se si confrica colle mani. Questo fenomeno che si produce a distanza fra la ceralacca confricata e i piccoli frammenti di carta, senza che l'una o gli altri cangino di natura, e che di più non è permanente, appartiene alla Fisica.

Un altro fenomeno a tutti noto, e che pure appartiene per la sua natura alla Fisica, si è quello dell'azione del ferro sull'ago calamitato. Un ago calamitato perfettamente mobile su di un pernio, prende sempre una direzione costante rispetto ai poli della terra. Questa direzione è presso che parallela al meridiano terrestre. Una delle sue estremità guarda costantemente il polo boreale della terra, l'altra il polo australe. Ora se si avvicina ad una delle estremità dell'ago magnetico, mentre esso trovasi nella sua posizione di equilibrio, una verga

di ferro, l'ago abbandona la sua posizione, e l'estremità a cui si è appressata la verga di ferro viene attratta con forza. Allontanando la verga, l'ago ritorna nella sua primitiva situazione.

La Fisica adunque studia, oltre le proprietà generali dei corpi situati alla superficie della terra, anche tutti i cambiamenti che in essi avvengono, quelli esclusi che accadono fra le ultime loro parti, e che operansi soltanto nel contatto di queste. Nello studiare questi fenomeni la Fisica determina le leggi colle quali si effettuano e le proprietà delle forze che li producono.

Queste forze che agiscono indistintamente sulla materia, sono anche dette *agenti della natura*, e si riducono *all'attrazione universale*, *all'attrazione molecolare*, *al calore*, *all'elettricità* ed alla *luce*. L'intima natura di queste forze è ancora ignota. Esse ci sono note soltanto pei loro effetti.

Il calorico, l'elettricità e la luce sono stati considerati dai fisici quali fluidi di un'estrema sottigliezza, capaci di penetrare tutti i corpi e completamente sprovvisti di peso. Perciò furono detti *fluidi imponderabili;* ma poichè l'idea di fluido comprende quella di corpo, e non v'ha corpo che non pesi, questa loro denominazione, così impropria e contradittoria, basta ad accennare quanto vi sia d'oscuro sulla vera loro natura. Noi conserveremo loro il nome di *agenti* o *forze della natura*, che hanno a comune coll'attrazione. Nel progresso del nostro corso vedremo sorprendenti analogie fra queste quattro grandi forze, e nascerà spontanea nel nostro spirito la persuasione che esse altro non sieno che modificazioni varie di una grande e sola forza, la quale sia quasi come l'anima della natura. Alcuni fisici considerano questa unica forza come emanante da un fluido imponderabile sparso per tutto l'universo, contenuto in tutti i corpi, e in questi modificato dalla presenza della materia, e di cui le parti si respingano incessantemente. A questo fluido danno il nome di *etere universale.*

Quantunque questa ipotesi abbia per gli scenziati una grande importanza, non ci soffermeremo a discuterla. Eviteremo, più che ci sarà concesso, le ipotesi tutte, e a quelle sole ci arresteremo, senza le quali sarebbe difficile afferrare l'insie-

me di numerosi fatti. Saremo invece diligenti osservatori dei fenomeni; ne studieremo attentamente le leggi, e li classeremo con ordine.

1.° Proprietà generali dei corpi.

Delle cinque rammentate proprietà comuni a tutti i corpi, l'estensione e l'impenetrabilità, ci dan l'idea di ciò che compone un corpo, ossia di ciò che diciamo *materia.* Infatti quantunque la materia sia differentissima d'aspetto nei diversi corpi, non è mai dato concepirla che non sia estesa ed impenetrabile. L'idea d'estensione si applica anche ad uno spazio vuoto, ma quando vi uniamo quella d'impenetrabilità si concepisce tosto la materia.

Estensione. Tutti i corpi occupano necessariamente un certo spazio; questo spazio è la loro estensione. L'estensione ha tre dimensioni: la lunghezza, la larghezza e la profondità. Tuttavia in geometria ed in fisica si prendono talvolta in considerazione anche le superfici che hanno due dimensioni soltanto, le linee che ne hanno una sola, ed i punti che non ne hanno alcuna; ma queste sono delle astrazioni paragonabili a quelle dell'aritmetica: le superfici, le linee ed i punti non esistono in natura.

Le proprietà della estensione sono studiate dalla geometria. La fisica però insegna a misurarla con precisione. La misura dell'estensione che basta al fisico, è quella delle linee rette e degli angoli. Le prime si misurano riportando sulla loro lunghezza l'unità lineare.

L'unità di misura lineare è in Toscana il *braccio* così detto *a panno*, il quale si divide in 20 parti dette *soldi*, e ogni soldo in 12 *denari.* V'ha inoltre la *canna agrimensoria*, che si compone di cinque braccia. Per le misure itinerarie si fa uso del *miglio*, che equivale a braccia 2833 $\frac{183}{1000}$. L'unità di superficie è generalmente il braccio a panno quadro, che contiene 400 soldi quadri, di 144 denari ciascuno. Per le misure agrarie v'ha il *quadrato*; esso si divide in 10 *tavole*, la tavola in 10 *pertiche*, la pertica in dieci *deche*, e la deca in 100 braccia quadre.

L'unità di misura lineare francese ha grandi vantaggi sulla nostra e su quella degli altri paesi, poichè è una frazione di uno dei circoli massimi della terra, cioè la diecimilionesima parte della porzione di un meridiano terrestre, compresa fra il polo e l'equatore. Questa misura, che è conosciuta col nome di *metro*, attesa la sua invariabilità ha le necessarie condizioni per divenire l'unità di misura lineare di tutti i popoli civilizzati, ed è già la misura adottata dagli scienziati di tutti i paesi (1). Il metro si divide in dieci parti chiamate *decimetri*, ogni decimetro in altre dieci dette *centimetri*, e ciascun centimetro in dieci *millimetri*. Per le grandi estensioni s'impiegano delle unità che hanno il nome di *chilometro* e di *miriametro*, e si compongono, la prima di 1000 metri, e la seconda di 10,000. L'unità di superficie più frequentemente adoprata è il metro quadro. Per le grandi estensioni si prende per unità una superficie di 100 metri quadri, che si designa col nome di *aro*, o di 10,000 metri quadri, che si distingue col nome di *ectaro*. Pei volumi l'unità è il decimetro cubo, che ha il nome di *litro*, o l'*ectolitro*, il quale, come lo indica il nome contiene 100 litri.

Per misurare delle lunghezze minori di un millimetro si fa uso di un istrumento molto ingegnoso detto *nonio* o anche *verniero* dal nome del suo autore, il geometra Vernier. Consiste in due regoli di metallo (*Tav.* I, *Fig.* 1.ª) di egual lunghezza *AB* e *CD*, il primo dei quali è diviso in nove parti eguali, per es. in 9 millimetri, e l'altro in dieci parti eguali. È evidente che ognuna delle divisioni del regolo *CD* è eguale a $\frac{9}{10}$ di millimetro, e perciò situando a contatto i due regoli l'uno sotto l'altro in modo che gli zeri delle due divisioni coincidano, è evidente che la distanza fra la prima divisione del primo regolo e la prima divisione del secondo sarà di $\frac{1}{10}$ di millimetro; quella fra la seconda del primo regolo e la corrispondente del secondo di $\frac{2}{10}$ di millimetro e così di seguito. Se ora si fa scorrere il secondo regolo in modo che i primi due tratti coincidano, il secondo regolo sarà così avanzato di $\frac{1}{10}$

(1) Un metro equivale a braccia toscane 1,713; ossia braccia 1, soldi 14 e denari 3 e ⅓ circa.

di millimetro; se la coincidenza avverrà pei secondi tratti sarà avanzato di $\frac{2}{10}$ di millimetro ec. ec. Quindi per misurare una estensione minore di un millimetro, per es. la linea *MN*, (*Tav.* I, *Fig.* 2.ª) si situerà il regolo *AB* del nonio al di sopra di essa, in modo che le loro estremità *M* ed *A* coincidano perfettamente, poi si situerà il regolo *CD* all'estremità della linea *MN*, al di sotto del regolo *AB*. La lunghezza di *MN* si otterrà contando sul regolo *CD* il numero delle divisioni fino alla coincidenza, e questo sarà il numero dei decimi cercato. Se la coincidenza sarà al 4.° tratto del regolo *CD*, come nella fig. 2.ª la lunghezza di *MN* sarà di $\frac{4}{10}$ di millimetro; se sarà al 6.° tratto, come nella fig. 3.ª detta lunghezza sarà di $\frac{6}{10}$ di millimetro. Se il regolo *AB* invece che in 9 millimetri fosse diviso in 19, 29, 39, 49 ec. millimetri, e il regolo *CD* in 20, 30, 40, 50 parti eguali, s'intende che le differenze di estensione delle divisioni dei due regoli sarebbero di $\frac{1}{20}$ $\frac{1}{30}$ $\frac{1}{40}$ $\frac{1}{50}$ di millimetro, e quindi mediante siffatti vernieri potrebbero valutarsi delle lunghezze di $\frac{1}{20}$ $\frac{1}{30}$ $\frac{1}{40}$ $\frac{1}{50}$ di millimetro. Estensioni maggiori di $\frac{1}{50}$ di millimetro, si è riconosciuto che non possono valutarsi, a motivo della difficoltà di praticare un numero troppo grande di divisioni su dei regoli di sì piccola estensione, in modo da rendere evidente la coincidenza dei tratti.

Si adopera anche frequentemente, per la misura delle piccole lunghezze o grossezze, la *vite micrometrica*, la quale può anche servire come d'istrumento di divisione. Consiste (*Tav.* I, *Fig.* 4.ª) in una vite *AA* perfettamente lavorata, la quale entra nella madre-vite fissa *BB* e porta alla sua testa un cerchio diviso *CC*, la cui circonferenza resta nella sua rotazione in faccia al regolo diviso *DD*. Ogni divisione di questo regolo corrisponde ad un passo della vite, per cui mediante questo istrumento si possono valutare le frazioni del passo della vite dal numero delle divisioni del cerchio *CC*, trascorse durante il movimento della vite. Questo apparecchio è principalmente destinato a misurare delle piccole grossezze. A quest'uopo si comincia dal situare contro la traversa fissa *EE* il corpo di cui si vuol misurare una delle dimensioni; si conduce, mediante il movimento della vite, il pezzo mobile *FF* in con-

tatto con lui, quindi si toglie il corpo, e si conduce lo stesso pezzo mobile in contatto della traversa *EE*: la corsa della vite in quest'ultimo movimento è evidentemente eguale alla grossezza del corpo. Se per mezzo della vite micrometrica si volesse misurare il diametro di un filo metallico dotato di sufficiente lunghezza, si potrebbe determinare questo diametro con una grande approssimazione avvolgendolo su di un piccolo cilindro in modo che i suoi giri si toccassero, misurando lo spazio occupato da un certo numero di questi giri, e dividendo questo spazio pel loro numero.

Quando gli oggetti hanno delle piccolissime dimensioni si misurano disponendoli su delle lamine di vetro su cui si sono tracciate con una punta di diamante delle linee molto vicine e situate ad egual distanza fra loro. Osservando col microscopio il numero delle divisioni coperte dall'oggetto, e conoscendo la distanza delle linee fra loro, si ottiene la dimensione cercata. Siccome si è giunti a tracciare 400 linee nello spazio di un millimetro, si possono valutare delle dimensioni di $\frac{1}{400}$ di millimetro.

La misura di un angolo si ha dal numero dei gradi dell'arco di circolo compreso tra le linee che lo formano, e descritto dal suo vertice come centro. Il circolo, come tutti sanno, è diviso in 360°, ogni grado in 60′, ed ogni minuto in 60″. La misura delle piccolissime frazioni di arco, si opera per mezzo di vernieri curvi.

Impenetrabilità. Due corpi non possono occupare nello stesso tempo lo stesso luogo; l'uno esclude l'altro dallo spazio che occupa. Questa proprietà della materia dicesi impenetrabilità; ed è così evidente che a dimostrarla non fa d'uopo di esperimento. L'aria stessa e tutti i fluidi aeriformi, essendo realmente costituiti di materia, sono impenetrabili. Se con tanta facilità ci muoviamo in mezzo all'aria, ciò significa che facilmente la spostiamo; ma se rovesciamo sull'acqua una campana piena di aria, vediamo che, comunque si prema, questo fluido non cede all'acqua il suo posto. Su questo principio è anzi fondata la costruzione di un apparecchio che serve alla pesca dei coralli nel fondo del mare, e che vien detto *campana* da *palombaj*. Il medesimo consiste in un vaso aperto nella

parte inferiore, il quale calato sott'acqua si mantiene ripieno di aria, e l'acqua che ne chiude l'apertura non v'entra che poco pel condensarsi dell'aria. Uno dei migliori di questi apparecchi fu costruito in Inghilterra dal dottor Halley. Consisteva in una campana di piombo (*Tav.* I, *Fig.* 5) alta circa otto piedi, in forma di cono troncato con tre piedi di diametro in alto e cinque in basso. Dalla medesima pendevano attaccati alcuni pesi destinati a farla discendere sotto l'acqua. Una lente *D* era collocata in alto per dar passaggio alla luce, e l'aria calda, e viziata si faceva uscire mediante un tubo attaccato alla parte superiore della campana, e fornito di un robinetto *R*. Gli operai erano collocati sopra un piano circolare *AB*, e discendevano sopra un banco *DC*, il quale rimaneva sotto la macchina sospeso con delle corde in mezzo all'acqua. Tutta la macchina stava legata all'albero d'una nave, dalla quale si faceva calare la campana sul luogo ove giudicavasi necessaria. Per rinnuovare l'aria sotto la campana si usavano dei barili pieni di questo fluido, i quali calavansi in basso mediante dei pesi convenienti, e si ritiravano in alto con delle corde, in seguito di segnali convenuti. In oggi si fa uso in Inghilterra di campane da palombaj, in cui il rinnuovamento dell'aria si opera per mezzo di una tromba premente.

La divisibilità, la porosità, e l'inerzia sono le altre proprietà comuni ai corpi. Dal loro studio ci faremo idea del modo onde questi sono costituiti ed esistono.

Divisibilità. Tutti i corpi sono divisibili e per un numero grande di essi la divisione può esser protratta ad un sì alto grado da sorpassare l'immaginazione. Molti esempj possono citarsene. Il battiloro e il filaloro ce ne offrono dei sorprendenti. Un grano d'oro può essere ridotto in foglie capaci di esser divise in 3,000,000 di parti visibilissime. Tre grani dello stesso metallo possono ricuoprire un filo d'argento della lunghezza di 247 miglia italiane. Wollaston, fisico inglese, è riuscito a preparare dei fili di platino aventi un diametro di $\frac{1}{1200}$ di millimetro. Un fascio di 140 di questi fili forma appena la grossezza di un fil di seta. La chimica ci offre pure comunissimi esempj di estrema divisione della materia. Un mezzo grano di carminio

è capace di colorare 15 chilogrammi di acqua, e con questa possono tingersi delle matasse di filo di lino, il quale se si stendesse pel verso della sua lunghezza occuperebbe 90,000 metri.

Le arti non solo ma la stessa natura ci somministrano degli esempj simili ed anche più meravigliosi. Così è noto che il sangue dei vertebrati è costituito da un'infinità di piccoli globetti microscopici natanti nel siero. Questi globuli hanno un diametro non maggiore di $\frac{1}{150}$ di millimetro, ed hanno un invoglio ed un nucleo. Gli animaletti infusorj scoperti da Ehremberg hanno la grossezza di $\frac{1}{3000}$ ed anche $\frac{1}{6000}$ di millimetro, e non di meno sono forniti di organi distinti. Le particelle odorose che emanano dai fiori e che imbalsamano considerevoli masse di aria sono di una picciolezza tale, che la nostra immaginazione non può concepire. Un grano di muschio spande per lungo tempo un odore penetrante in una stanza in cui l'aria sia spesso rinnuovata, senza diminuire sensibilmente di peso.

È stata lungo tempo agitata la questione della divisibilità della materia all'infinito. Quantunque si possa coll'immaginazione concepirla indefinita, quando abbiamo riguardo ai processi meccanici di cui possiamo disporre per dividere la materia, ci accorgiamo ch'essa è in realtà compresa fra limiti assai ristretti. I limiti della divisione sono assai più lontani quando si adoprano processi chimici. Così per esempio quando si scioglie un sale nell'acqua, le particelle nelle quali il sale si divide sono così piccole che sfuggono non solo all'occhio nudo, ma ben anco all'occhio armato del più potente microscopio. Non per questo bisogna ammettere che mediante chimici processi possa la materia talora dividersi all'infinito. Anzi la chimica stessa c'insegna il contrario, poichè ci addita un limite di divisibilità nei corpi, che i suoi processi non possono oltrepassare. Essa ci mostra che le combinazioni chimiche avvengono fra particelle di materia estremamente piccole e indivisibili, fra le quali agisce quella particolar forza di attrazione che dicesi affinità. Queste ultime particelle dei corpi hanno ricevuto il nome di *atomi* o *molecole chimiche.* E non è possibile dubitare della loro indivisibilità, rispetto ai fenomeni dell'affinità, quando vediamo che i corpi si com-

binano fra loro sempre nello stesso peso, e con rapporti di quantità semplicissimi.

I fenomeni chimici non solo, ma anche altri argomenti, che avremo luogo di discutere in seguito, hanno indotto i fisici ad ammettere che i corpi siano costituiti dall' insieme di piccolissime particelle indivisibili. Ma, a vero dire, pel fisico, *atomo* o *molecola* ha doppio significato, poichè sta a denotàre tanto l'*elemento della materia* quanto *la materia indivisibile*. Considerato l' atomo sotto il primo aspetto, se ne potrebbe indurre che le particelle indivisibili costituenti i diversi corpi fossero pure il resultato dell' aggruppamento vario di un maggiore o minore numero di detti elementi; e che la indivisibilità delle medesime fosse soltanto relativa ad una certa serie di fenomeni.

Porosità. Le molecole dei corpi sono aggregate in modo da lasciare fra loro degl' intervalli o spazi vuoti, i quali hanno ricevuto il nome di *pori*. Non bisogna però confondere con questi quei maggiori interstizj che scorgonsi anche ad occhio nudo nella massima parte dei corpi, i quali piuttosto che pori dovrebbero dirsi soluzioni di continuità. Queste sono talora assai considerevoli, e tali da lasciar passaggio ai fluidi meno sottili. La spugna è la sostanza che presenta al più alto grado questo genere di porosità; vengono poi le materie formate di fibre, come le tele, le stoffe, i legni ec., le quali facilmente s'imbevono dei liquidi e li lasciano passare fra i loro interstizj. I tessuti animali godono di uno stesso grado di porosità. Le pietre lo sono più o meno; i metalli pochissimo; non di meno gli Accademici del Cimento, nel 1661, esercitando una forte pressione sull'acqua contenuta entro una palla d'oro, la videro trasudare attraverso i pori dello stesso metallo.

Talora i pori sono così piccoli, così serrati fra le molecole dei corpi, che non si lasciano penetrare dai fluidi, quantunque sottoposti alle più forti pressioni. Si può allora giudicare di questa intima porosità dei corpi da altri fatti; così, se percuotendo o comprimendo un metallo lo vediamo diminuire di volume, si deve ammettere che le sue molecole materiali si sono ravvicinate, e quindi che gl'interstizj fra di

esse esistenti hanno diminuito di volume. La diminuzione di volume che subiscono i fluidi aeriformi ed i liquidi per mezzo della pressione, ci prova parimente la porosità di questi corpi. In alcuni liquidi questa proprietà può anche essere dimostrata da altri fatti. Se in un lungo tubo di vetro chiuso ad un estremo introduciamo due colonne liquide, l'una di acqua sovrapposta all'altra di acido solforico, e quindi le rimescoliamo capovolgendo più volte il tubo, si osserva che il liquido formato dall'unione dei due occupa uno spazio minore di quando erano separati; prova sicura che nella combinazione le loro molecole si sono maggiormente avvicinate.

Vi sono dei corpi durissimi, come il vetro, il cristallo di rôcca, il diamante, i quali sono affatto impenetrabili ai fluidi ponderabili, e la cui porosità non può neanco provarsi colla diminuzione di volume che sogliono i corpi subire colla pressione o colla percussione, imperciocchè questi non si lasciano comprimere, e alla percussione si spezzano; nullameno conviene ammettere che anche questi siano costituiti secondo la legge generale, poichè li vediamo aumentare di volume col riscaldamento; mostrando così che il calore tende a tener separate le loro molecole; e noi avremo luogo in seguito di stabilire che anche alle più basse temperature i corpi ritengono sempre del calorico, per cui giammai le loro molecole sono ad intimo contatto.

Dobbiamo adunque considerare ogni corpo come composto di particelle materiali fra le quali esistono dei pori; quindi si deve necessariamente distinguere nello spazio che esso occupa, il *volume apparente*, cioè quello rappresentato dalle esterne dimensioni, dal *volume reale* o *massa* del corpo, composto di tutte le particelle materiali supposte aggregate senza lasciare intervalli fra loro. Il rapporto del volume apparente colla massa, è ciò che dicesi *densità*. Il piombo è più denso del legno, perchè sotto lo stesso volume apparente, il primo contiene una massa molto maggiore.

Inerzia. I corpi non possono di per sè stessi cambiare di stato, porsi in movimento o cessare dal moto. Ciò si esprime col dire che *la materia è inerte.* Allorquando un corpo si rompe o si sposta, addiviene più duro o più molle, si raf-

fredda o si riscalda, si liquefà o si vaporizza, ciò significa che qualche causa gli ha impresse queste modificazioni. Vediamo tutto giorno che i cambiamenti di temperatura nei corpi, o il loro passaggio dallo stato solido al liquido, o da questo al vaporoso provengono dal calore; parimente i loro movimenti sono sempre determinati da qualche azione che si esercita su di essi. Così una bilia non si muove sul piano del biliardo se non vien percossa dalla stecca, una palla di piombo sospesa ad un filo cade solo quando si taglia il filo, la cui resistenza distruggeva l'effetto della forza di gravità. Meno evidente apparisce che i corpi in moto non possano tornare in quiete senza una forza che distrugga l'effetto di quella che ha prodotto il loro movimento, conciossiachè di continuo vediamo estinguersi i movimenti senza che una causa apparente vi contribuisca. Ma questa causa è riposta nelle resistenze continue che un corpo in moto incontra sulla sua strada; infatti esso persevera tanto più nel medesimo quanto meno numerosi sono quelli ostacoli. Così una palla di avorio, mossa sempre da una stessa forza, continuerà a moversi molto più lungamente sopra un piano di marmo che sopra una tavola grossolana di legno, e molto più a lungo su questa che sopra un piano asperso di arena. Un pendolo oscillerà per un tempo assai maggiore nell'aria che nell'acqua. D'altronde i movimenti dei corpi celesti ci danno la prova più convincente della inerzia della materia. Da secoli non hanno subìto la minima alterazione: movendosi in spazj vuoti hanno conservato la stessa velocità che fu loro impressa in origine.

2.° Nozioni generali sulle forze, sull'equilibrio, e sul movimento.

Per *forza*, s'intende tutto ciò che toglie la materia dall'inerzia. Gli atomi dei corpi posti semplicemente a contatto, per la loro inerzia non potrebbero costituire nè i solidi nè gli altri corpi della natura; essi non formerebbero che un ammasso incoerente simile ad un mucchio di sabbia o di polvere. Una pietra o un pezzo di ferro sono corpi solidi e resi-

stenti: bisogna adunque che vi sia una causa che tenga uniti e aderenti gli atomi fra loro, e ne faccia un insieme dotato di coesione. Questa causa è una forza; è la forza di attrazione.

Le forze sono anche la cagione del moto dei corpi. Il *moto* può definirsi, lo stato di un corpo che occupa successivamente differenti punti nello spazio. Un movimento non ha mai luogo che in una certa direzione, che è necessariamente quella della forza che lo ha prodotto.

Nel muoversi un corpo percorre un certo spazio in un dato tempo. Il tempo è difficile a definirsi: l'uomo se ne forma idea col succedersi dei movimenti e coll'avvicendarsi degli avvenimenti. I corpi in moto percorrono uno spazio diverso nello stesso tempo, e quelli che nello stesso tempo percorrono uno spazio maggiore di altri, diconsi più *veloci*.

La *velocità* adunque è il rapporto fra lo spazio percorso da un dato corpo e il tempo impiegato a percorrerlo.

Rapporto tra le velocità e le forze. L'esperienza sola prova che le velocità sono semplicemente proporzionali alle forze. Nulla dimostra *a priòri* che questo rapporto è quello che realmente esiste. Se le forze sono realmente proporzionali alle velocità ne deve resultare che i movimenti relativi di un sistema di corpi non debbano essere alterati quando una stessa forza agirà su tutto il sistema. Per esempio, quando dei corpi si muovono su di una linea retta, i moti relativi sono prodotti dalla differenza delle velocità, e questa differenza non sarebbe punto alterata quando ogni forza fosse aumentata della stessa quantità. Reciprocamente, se i movimenti relativi di un sistema di corpi non sono alterati da un impulso comune a tutto il sistema, se ne potrà concludere che le velocità sono proporzionali alle forze; giacchè nessun altro rapporto tra le velocità e le forze potrebbe soddisfare alla condizione supposta.

Riprendiamo l'esempio dei corpi che si muovono sopra una stessa linea retta, e supponiamo che sieno sollecitati da delle forze rappresentate da 1 e 2: se le forze non sono proporzionali alle velocità, se stanno fra loro p. es. come i quadrati delle velocità, le forze essendo fra loro come 1 e 2, le velo-

cità saranno fra loro come 1 e 4, e il secondo corpo tenderà ad allontanarsi dal primo con una velocità eguale a 3; se in seguito si comunica loro un impulso comune rappresentato da 1, le forze essendo come 2 e 3, le velocità saranno come 4 e 9, e in conseguenza i movimenti relativi saranno alterati, poichè il secondo tenderà ad allontanarsi dal primo con una velocità eguale a 5. Accadrebbe lo stesso per ogni altro rapporto fra le velocità e le forze. Ora l'esperienza dimostra che i movimenti relativi dei corpi non sono punto alterati da delle forze comuni; così, in un bastimento in moto, in cui tutte le parti sono animate da un movimento comune, una data forza applicata ad un oggetto situato su quello, non produrrà velocità diversa, di quando il bastimento fosse in quiete: possiamo adunque concludere che le forze sono proporzionali alle velocità.

Fin qui si è considerato l'azione della forza sopra un sol punto materiale; ma i corpi sono riunioni di punti materiali, cioè a dire sono *masse*. Vediamo adunque quale è il rapporto fra le forze, le velocità e le masse. L'esperienza giornaliera ha reso evidenti, e come assiomatiche le seguenti leggi: 1.° *Le forze sono proporzionali alle velocità che imprimono alla stessa massa o a masse eguali;* 2.° *Le forze sono proporzionali alle masse alle quali imprimono delle velocità eguali;* 3.° *Per la stessa forza le volocità sono inversamente proporzionali alle masse.*

Dalle prime due si deduce un'altra legge importante, cioè che *le forze si misurano dai prodotti delle masse per le velocità.* Infatti sieno F ed F' due forze che agendo sulle masse m ed m' imprimano loro le velocità v e v'. Consideriamo una terza forza F'', che agendo sulla massa m le imprima la velocità v'. Paragonando la prima forza colla terza si avrà $F : F'' :: v : v'$, e paragonando la terza colla seconda, avremo $F'' : F' :: m : m'$. Moltiplicando queste due proporzioni per ordine, sopprimendo il fattore comune F'', avremo

$$F : F' :: m\,v : m'\,v'.$$

Il prodotto della massa per la velocità dicesi *quantità di movimento.*

Da ciò che precede si vede che quando una stessa forza agisce successivamente su delle masse ineguali, la quantità di

movimento dev'esser la stessa. Difatti se una stessa forza agisce successivamente su delle masse che stanno fra loro come 1. 2. 3...... 100, si è detto che le velocità staranno fra loro come 1. $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$..... $\frac{1}{100}$, e quindi il prodotto è sempre eguale ad 1.

Dunque stabiliremo che la quantità di movimento è la vera misura della forza, e la forza che agisce sopra una massa qualunque è sempre in rapporto del prodotto della massa per la velocità.

Infine l'esperienza diretta ci dimostra ancora *che le forze agiscono nello stesso modo su tutti i corpi indipendentemente dalla loro natura.* Basta infatti prendere masse eguali di un certo numero di corpi di natura diversa e comunicare a tutti la stessa forza, per accertarsi che essi acquistano la stessa velocità.

Qualità delle forze. Si distinguono due specie di forze: le forze *istantanee* e le *forze continue.*

Le prime non agiscono che all'origine del movimento e per un solo impulso istantaneo; le altre agiscono continuamente per tutta la durata del movimento e per un seguito di impulsi infinitamente piccoli che si succedono in un modo continuo. Questa distinzione utile in teoria non è d'altronde reale, poichè in natura non v'ha forza la cui azione possa rigorosamente riguardarsi istantanea, poichè una forza qualunque esige sempre un tempo determinato per comunicare al corpo su cui agisce una velocità determinata. Gli effetti delle forze pretese istantanee possono essere riguardati come dovuti ad una forza acceleratrice o continua che ha agito sul corpo, e lo ha abbandonato dopo averlo messo in moto. Noi ammetteremo dunque la distinzione delle forze istantanee e delle forze acceleratrici, perchè essa è comoda per le dimostrazioni, e perchè dopo l'osservazione precedente non ne può resultare alcuna idea inesatta.

Si possono considerare le azioni delle forze continue come separate le une dalle altre da degl'intervalli piccolissimi, e conseguentemente i movimenti prodotti da queste forze come l'effetto di una serie di forze istantanee infinitamente piccole che si succedono a degl'intervalli cortissimi. Noi facciamo così una astrazione intieramente simile a quella di cui si servono i

geometri per determinare le proprietà delle linee curve, che considerano cioè come formate da un gran numero di piccole linee rette.

Le forze istantanee comunicano ai corpi un genere di moto chiamato *uniforme*.

Il moto uniforme è quello nel quale il mobile percorre degli spazj eguali in tempi eguali. Così p. es. concepiamo un mobile che percorra una linea retta, e un orologio che misuri il tempo: se in ogni minuto il mobile avanza della stessa lunghezza, di sessanta metri p. es., e in ogni mezzo minuto di trenta metri, di venti in ogni terzo di minuto, esso si muoverà con moto uniforme. Poichè gli spazi sono eguali per dei tempi eguali ne resulta che il rapporto dello spazio al tempo, cioè la velocità è in questo moto costante.

La equazione che rappresenta questa velocità è:

$$V = \frac{S}{T} \text{ da cui si ha } S = VT.$$

S e T si rappresentano con dei numeri, ma è evidente che è necessario designare ancora le unità di misura che hanno servito a trovare questi numeri, per avere idea esatta di tale velocità.

Parlando dell'inerzia dicemmo che i movimenti dei corpi vengono a cessare per le continue resistenze che incontrano. Perciò le velocità dovute a forze istantanee vanno continuamente diminuendo, e quindi moti uniformi si verificano raramente in natura.

Le forze continue producono un'altra specie di moto che dicesi *vario*. Il moto vario è quello nel quale la velocità cambia ad ogni istante. Dicesi *accelerato* se la velocità va aumentando; e *ritardato* se va diminuendo.

La forza che produce il moto vario, sia accelerato che ritardato, può agire costantemente colla stessa intensità in tutti i tempi del movimento, ovvero può agire con intensità variabili nei varj tempi. Nel primo caso, il moto che si produce dicesi *uniformemente vario*, e può essere uniformemente accelerato o uniformemente ritardato. Del primo di questi moti si ha esempio nella caduta di un grave; del secondo si ha esem-

pio nel moto di un corpo lanciato dal basso all'alto. Ma di ciò parleremo a lungo trattando della gravità. La forza che produce il moto uniformemente accelerato dicesi *forza acceleratrice costante.*

Nel moto uniformemente accelerato, la velocità cresce proporzionalmente al tempo. Possiamo infatti considerare il moto uniformemente accelerato come il resultato di una serie d'impulsi eguali, che si succedono ad intervalli eguali e gli effetti dei quali si aggiungono gli uni agli altri. Quindi è, che se la velocità acquistata da un dato mobile dopo il primo intervallo di tempo, si rappresenti con 1, dovrà rappresentarsi con 2 quella acquistata dopo il secondo intervallo, con 3 quella acquistata dopo il terzo, e così di seguito. Per esprimer ciò in termini più generali, chiamisi g la velocità che la forza acceleratrice imprime al mobile in ciascuna unità di tempo; egli è chiaro che le velocità successive acquistate dal mobile stesso saranno g, $2g$, $3g$ ec.; per modo che dopo un tempo indicato da t, la velocità acquistata sarà g presa tante volte quante sono le unità in t, cioè a dire sarà gt. Dunque se chiamisi v la velocità acquistata dal mobile dopo il tempo t, si avrà

$$v = gt$$

e per un'altra velocità acquistata dopo il tempo t' si avrebbe

$$v' = gt';$$

e quindi si otterrà

$$v : v' :: t , t'$$

cioè a dire che la *velocità è proporzionale al tempo.*

Vediamo ora come cresce lo spazio rispetto al tempo. Sia il tempo rappresentato dalla linea AN (*Tav.* I, *Fig.* 6.ª), e sia questa divisa in un dato numero di parti AB, BC, CD ec.; eguali fra loro ed all'unità di tempo. Inoltre supponiamo che BF rappresenti la velocità acquistata nella prima unità di tempo. Conducendo la retta AFM, e tirando tutte le parallele, come si vede nella figura, saranno aG, bH, cI ec. gli accrescimenti eguali delle velocità, e quindi la velocità totale nel tempo AN si esprimerà per MN, e lo spazio totale percorso in detto tempo sarà la somma degli spazj parziali. Ora per l'unità di tempo si può prendere un'unità tanto piccola che la velocità sia sensibilmente costante. Dunque in tal

caso il moto potrà riguardarsi come uniforme, e lo spazio percorso sarà il prodotto della velocità nel tempo. Se pertanto si diano al mobile, dall'origine del moto, le velocità *BF*, *CG*, *DH* ec., che egli ha acquistate alla fine di ciascuna unità di tempo, lo spazio totale percorso sarà espresso dalla somma dei rettangoli *ABFf*, *BCGg*, ec. Se al contrario suppongasi che il mobile si muova in ciascuna unità di tempo colla velocità che ha all'origine, allora la somma degli spazj percorsi, sarà espressa da 0, *BCaF*, *CDbG* ec. La prima supposizione dà un resultato maggiore del vero, e la seconda un resultato minore. Ma la differenza sarà tanto più piccola, quanto più piccola sarà l'unità di tempo; ed il loro limite sarà l'area del triangolo *AMN*. Dunque indicando con s lo spazio totale, e con t il tempo corrispondente espresso da AN, sarà detto spazio espresso da $\frac{MN \, . \, t}{2}$; e siccome MN è la velocità finale espressa da $v = gt$, così lo spazio percorso sarà espresso da

$$s = \frac{vt}{2} = \frac{gt^2}{2}$$

Così pure lo spazio s' percorso in qualunque altro tempo t' si esprimerà con $\frac{gt'^2}{2}$. Dunque si avrà

$$s : s' :: \frac{gt^2}{2} : \frac{gt'^2}{2}$$

e quindi $\quad s : s' :: t^2 : t'^2$

cioè a dire *gli spazi percorsi con moto uniformemente e continuamente accelerato stanno fra loro come i quadrati dei tempi.*

E poichè le velocità sono proporzionali ai tempi, *gli spazi medesimi staranno altresì come i quadrati delle velocità.*

Difatti dalle due seguenti proporzioni

$$s : s' = t^2 : t'^2$$
$$t^2 : t'^2 = v^2 : v'^2$$

si ricava che $\quad s : s' = v^2 : v'^2$

E dalle proporzioni

$$s : s' :: v^2 : v'^2$$

e $\quad s : s' :: t^2 : t'^2$

si ricava che $\quad v : v' :: \sqrt{s} : \sqrt{s'}$

e $\quad t : t' :: \sqrt{s} : \sqrt{s'}$

Conseguentemente *le velocità ed i tempi stanno come le radici quadrate degli spazi percorsi dopo il principio del moto.*

Se ora si supponga che alla fine del tempo t la forza acceleratrice cessi di agire, allora il corpo persevererà nel suo movimento con moto uniforme e colla velocità acquistata v, cioè a dire che in ciascuna unità di tempo egli descriverà uno spazio eguale $v\ t$, cioè a dire doppio dello spazio $\frac{v\ t}{2}$ che ha descritto in egual tempo per l'azione successiva della forza acceleratrice. Dunque *nel moto uniformemente accelerato, lo spazio percorso dal mobile in un dato tempo è la metà di quello che può descrivere in egual tempo colla velocità acquistata, continuata uniformemente.*

La velocità di questo movimento uniforme, che succede al movimento accelerato, è precisamente ciò che si chiama *velocità del moto accelerato.* Vedremo delle utilissime applicazioni di questi principj trattando della gravità.

Dell'Equilibrio. Si dice che un corpo è in *equilibrio* quando è sollecitato da delle forze che si distruggono scambievolmente, o quando le forze che lo animano sono distrutte da qualche resistenza. Così un corpo è in equilibrio all'estremità di un filo che lo tiene sospeso, perchè il peso che lo sollecita è distrutto dalla resistenza del filo e da quella del punto di sospensione. Alcune volte l'equilibrio ha luogo senza punto fisso e senza apparente resistenza; così i pesci più pesanti stanno in equilibrio nell'acqua; un globo aereostatico, con tutto il suo corredo, può egualmente stare in equilibrio nell'aria; ma allora il peso che sollecita questi corpi è distrutto dalla pressione dell'acqua in un caso e dell'aria nell'altro, come avremo luogo di studiare in seguito.

Si può dire che tutti i corpi che appariscono in riposo non sono realmente altro che corpi in equilibrio, perchè sono sempre sottoposti all'azione di varie forze che si distruggono fra loro.

La *statica* ha per oggetto di determinare le condizioni di equilibrio dei corpi; e la *dinamica* ha per oggetto di determinare le leggi dei movimenti che si producono quando le condizioni di equilibrio non si verificano. La *meccanica* comprende

la statica e la dinamica, cioè le leggi di equilibrio e quelle di movimento. Per la perfetta intelligenza dei fenomeni fisici, che formeranno il soggetto del proseguimento del nostro Corso, è necessario esporre i principj generali della statica, e far conoscere le macchine più semplici, la cui costruzione da questi principj deriva.

Le forze non possono misurarsi che col prendere per unità una forza convenuta; nel modo stesso che si misurano le lunghezze ed i pesi prendendo per unità una lunghezza ed un peso determinati. Inoltre, poichè la nozione di grandezza non si applica direttamente alle forze, convien definire con precisione ciò che s'intende per *forze eguali*, *forze doppie* ec. Affinchè due forze sieno eguali, bisogna che si facciano equilibrio, quando si oppongono l'una all'altra su di un punto o alle estremità di una retta inflessibile. Due forze eguali danno una forza doppia quando si riuniscono, cioè a dire quando si fanno agire nello stesso senso e nella stessa direzione. Si avrebbe una forza tripla se si facessero agire nello stesso senso tre forze eguali, e così di seguito. Perciò se si conviene di rappresentare una forza con un numero o con una linea, la forza doppia di quella sarà rappresentata da un numero doppio o da una linea doppia ec. È in questo modo che noi possiamo sempre rappresentare le forze con delle grandezze numeriche o lineari, e fare su di esse le stesse operazioni che facciamo su queste grandezze.

Qualunque sia il numero delle forze che agiscono sopra un punto materiale, e qualunque sia la direzione di queste forze, esse non possono imprimere a questo punto che un solo movimento e in una determinata direzione. Ora si può concepire una tal forza, capace per sè sola di produrre lo stesso effetto di queste forze riunite, e questa forza è ciò che si chiama *resultante*. Chiamansi *componenti* le forze che rimpiazza. Così quando un battello si muove, sollecitato contemporaneamente dalla forza della corrente e da quelle del vento e dei remi, si può concepire una forza unica; una corda abbastanza forte, per esempio, che, essendo attaccata al battello fosse tirata in una tal direzione, con una tal forza da imprimere essa sola ad ogn' istante lo stesso movimento che tutte quelle forze riunite; questa corda ce ne rappresenterebbe la resultante. La cor-

rente, il vento, ed i remi, cessando di agire, e la corda di cui parliamo essendo loro sostituita, il resultato non sarebbe minimamente cangiato.

L'insieme di varie forze che concorrono a produrre un effetto si chiama un *sistema di forze*. È evidente che se ad un sistema di forze si aggiungesse una nuova forza che fosse eguale alla resultante e diretta in senso contrario, l'equilibrio avrebbe luogo in questo nuovo sistema di forze. Questa è la proprietà caratteristica della resultante. Così riprendendo l'esempio prescelto, se mentre le forze della corrente, del vento e dei remi esercitano la loro azione, si attaccasse al battello una corda abbastanza resistente, diretta in senso contrario di quella che rappresenta la resultante e tirata colla stessa forza, questa nuova forza produrrebbe l'equilibrio; il battello rimarrebbe fermo come se fosse ancorato, non potrebbe avanzare nè retrocedere nè muoversi da alcun lato, finchè non sopraggiungesse qualche nuova forza, o qualche cambiamento nelle forze in azione.

Resultante di varie forze che agiscono sopra uno stesso punto, e tendono a muoverlo su di una stessa linea. Quando tutte le forze che agiscono su di un punto tendono a muoverlo su di una stessa linea, si possono presentare due casi: 1.° che tutte queste forze agiscano nello stesso senso, 2.° che agiscano le une in un senso e le altre in un senso contrario. Nel primo caso la resultante è eguale alla somma delle forze; nel secondo è eguale alla differenza delle due resultanti parziali, e agisce nel senso della più grande.

Resultante di due forze che agiscono angolarmente sopra uno stesso punto. Se due forze eguali P e Q che rappresenteremo colle rette eguali AB e AC (*Tav.* I, *Fig.* 7) sono applicate ad un medesimo punto A, l'una nella direzione Ax e l'altra nella direzione Ay, la loro resultante è nel piano delle forze, divide per metà l'angolo BAC che fanno le direzioni di quelle forze ed è conseguentemente diretta lungo la diagonale AD del parallelogrammo $ABCD$, costruito tirando dai punti B e C le parallele BD e CD. Infatti non v'è ragione perchè questa resultante debba di-

rigersi da una parte più che dall'altra del piano, come non vi è ragione perchè essa debba accostarsi più all'una che all'altra direzione delle forze eguali P e Q. È chiaro altresì che le due forze eguali AB ed AC potranno essere applicate parallelamente a loro stesse in D senza cangiare minimamente la direzione e la intensità della resultante. Da ciò si deduce che quando si vuol trovare la direzione della resultante di due componenti angolari diverse fra loro, si costruisce su queste un parallelogrammo, e la sua diagonale ci rappresenta la direzione della resultante. Difatti le rette AM, AN (*Tav.* I, *Fig.* 8) ci rappresentino in direzione ed in intensità le due forze diverse P e Q che agiscono sul punto A. Noi potremo dividerle in tante parti eguali AB, BC, AH ec., i cui numeri sieno rispettivamente m, n; queste diverse parti rappresenteranno delle forze, nelle quali si potranno dividere le prime. Conduciamo dai punti B, C ec., delle parallele ad AN, e pei punti H, K delle parallele ad AM; queste rette divideranno il parallelogrammo $AMIN$ in losanghe eguali. Ciò posto, le due forze eguali AB, AH possono essere trasportate parallelamente ad esse stesse al punto D della bisettrice del loro angolo; saranno allora dirette lungo i due lati BD, HD che le rappresenteranno anche in lunghezza. Facendo lo stesso alle due forze BD, BC, si trasporteranno su DE, CE, e così proseguendo, la forza AH sarà trasportata in MF, e la AM, in HF. Parimente, le forze HK, HF potranno essere trasportate in FG, KG e così di seguito, di maniera che le due forze AM, AN saranno trasportate in NI, MI senza che il loro effetto abbia cangiato. Ora, esse danno in I una resultante eguale a quella che davano in A, e il punto I appartiene alla direzione della medesima; e poichè anche il punto A vi appartiene, ne segue che questa direzione è rappresentata dalla retta che unisce i due punti A ed I. Perciò è chiaro che *la resultante di due componenti angolari segue nella sua direzione la diagonale del parallelogrammo costruito sulle linee che rappresentano queste forze in grandezza e in direzione*; ed è ciò che volevamo dimostrare.

Resta ora a determinare l'intensità della resultante delle due forze P e Q. A questo fine osserveremo che se noi applichiamo nella direzione AX (*Tav.* I, *Fig.* 9) opposta a quella della diago-

nale *AI* una forza *R* eguale alla resultante, vi sarà equilibrio tra le forze *P*, *Q*, *R*. Perciò la forza *Q* sarà, per esempio, eguale ed opposta alla resultante delle altre due forze *P*, *R*; ed in conseguenza, se dal punto *P* conduciamo una parallela ad *AX*, la quale tagli in *B* il prolungamento di *AQ*, e dal punto *B* conduciamo *BC* parallela ad *AP*, la lunghezza *AC* rappresenterà la forza *R*; poichè ogni altra grandezza, unitamente ad *AP*, darebbe un parallelogrammo, la di cui diagonale sarebbe differente da *AB*. Ma *AC*=*BP*=*AI*; dunque la resultante delle due forze *P* e *Q* è eguale ad *AI*. Perciò *la diagonale del parallelogrammo costruito sulle due forze rappresenta*, *in grandezza e in direzione*, *la resultante di queste forze.*

Questo principio, conosciuto col nome di *principio del parallelogrammo delle forze*, è il fondamento della statica, e può anche esser dimostrato coll'esperienza. L'apparecchio destinato a questo esperimento dicesi tavòlino del parallelogrammo delle forze. Consiste in una tavola orizzontale *M M'* munita di lavagna, (*Tav.* I, *Fig.* 10) sui margini della quale si fissano tre carrucole mobilissime, e costruite in modo che possano girare in tutti i piani verticali, come vedesi in *A*, *B*, *C*. Si leghi un corpo leggiero *O* con tre fili, e si passi ciascuno di questi sopra una ruota; si attacchino dei pesi *P*, *P'*, *R*, scelti a volontà agli estremi delle corde. Il corpo *O* verrà allora tirato in una posizione determinata, ed ivi rimarrà dopo alcune oscillazioni in equilibrio per effetto dei tre pesi o forze. In questa situazione è chiaro che una di esse, p. es. *R*, distrugge l'effetto delle altre due *P*, *P'*, ma sappiamo che la medesima distruggerebbe l'effetto di una forza coincidente eguale ed opposta; dunque le due forze *P*, *P'* producon l'effetto di questa eguale e contraria ad *R*, ed essa sarà la loro resultante. Se nella direzione dei fili appartenente alle due forze *P*, *P'*, si tirano dall'angolo che esse formano due rette a *p*, a *p'* proporzionali in lunghezza ciascuna alla respettiva forza, e ci serviamo di queste due rette come lati nella costruzione di un parallelogrammo *a p r p'*, la diagonale *a r* di questo, si troverà che rappresenta colla sua lunghezza la forza o peso *R*, e colla sua direzione quella della resultante.

Quando le due forze angolari sono eguali, abbiamo detto

che la resultante divide sempre il loro angolo in due parti eguali; ma in quanto alla sua intensità essa è ora eguale a quella delle componenti, ora più grande ed ora più piccola, come si vede nelle *fig.* 11, 12 e 13 della *Tav.* I.

Quando le due forze sono disuguali, la resultante divide il loro angolo in due parti ineguali; ed è sempre più vicina alla forza maggiore (*Tav.* I, *Fig.* 14).

Se un punto materiale è soggetto all'azione di molte forze angolari, potrà sempre aversi la resultante totale, cercando da prima la resultante di due di queste, poi quella di questa prima resultante con una terza componente e così di seguito.

La ricerca della resultante di più forze chiamasi *composizione delle forze.*

Frequenti sono gli esempj di composizione di forze angolari che ci cadono sotto gli occhi. Una barca tirata lungo un canale per mezzo di due corde da due uomini situati sulle rive, procede con una direzione e con una velocità che son quelle della resultante delle due forze che la fanno avanzare. Il barcajolo che vuol traversare un fiume, non dirige già il suo battello verso il punto a cui vuol giungere. Se così facesse sarebbe trascinato dalla forza della corrente, e giungerebbe molto al di sotto del punto a cui mira. È necessario che egli si diriga tanto più al di sopra di esso, quanta più velocità ha la corrente, affinchè il suo battello, seguendo la direzione della resultante delle due forze, giunga al posto prefisso. Sappiamo che i pesci nel muoversi nell'acqua urtano colla coda questo fluido dal lato opposto a quello a cui si vogliono volgere; ma se vogliono avanzare percuotono l'acqua con grande celerità ora a destra ed ora a sinistra, affine di prendere una direzione intermedia, essendo il loro movimento composto dei due impulsi datisi percuotendo colla coda l'acqua in due direzioni differenti.

Poichè due forze possono essere rimpiazzate da una sola, è chiaro che reciprocamente una sola forza deve potere essere rimpiazzata da due. Queste componenti saranno rappresentate dai lati del parallelogrammo avente per diagonale la forza data. Si vede ancora che v'ha un'infinità di sistemi differenti che possono dar luogo alla stessa resultante (*Tav.* I, *Fig.* 15)

e che reciprocamente v'ha un' infinità di maniere di rimpiazzare una sola forza col sistema di altre due, quando non si esige nulla di determinato nè sulla loro intensità, nè sulla loro direzione. Ma se si domanda di rimpiazzare una data forza con due altre forze, di una delle quali sia determinata la direzione e la intensità, allora il problema non ha che una soluzione, perchè non v'ha che un modo di determinare il parallelogrammo e di trovare l'altra componente.

Una forza potrà anche decomporsi in tre altre di cui sieno *date* le direzioni; basterà per avere le intensità delle componenti, di costruire un parallelepipedo sulle tre direzioni date, e del quale la forza data sia una delle diagonali (*Tav.* I, *Fig.* 16). La ricerca delle componenti di una data forza chiamasi *decomposizione o risoluzione delle forze.*

Resultante di due forze applicate in punti diversi di un corpo solido. Sieno *P* e *Q* (*Tav.* I, *Fig.* 17) due forze applicate a due punti qualunque di un corpo solido. Onde vi sia una resultante unica, bisogna che le direzioni di queste due forze sieno nello stesso piano. In questo caso si prolungheranno fino al punto di loro incontro *C*, e supponendo questo punto invariabilmente fissato al corpo, vi si potranno applicare le due forze *P* e *Q*, poichè l'effetto di una forza non è alterato quando si trasporta il suo punto di applicazione in un punto qualunque della sua direzione. Le linee *AC* e *CB* ci rappresenteranno per esempio, le due forze *P* e *Q* applicate al punto *C*, e quindi per trovare la loro resultante basterà costruire il parallelogrammo *ABCD* e condurre la diagonale *CD*. Questa ci rappresenterà la resultante cercata, e la linea *CR* la sua direzione. Il punto di applicazione di questa resultante potrà essere sopra un punto qualunque di *RC*.

Resultante di due forze parallele che agiscono nella stessa direzione. Quando le forze *P* e *Q* (*Tav.* I, *Fig.* 18) sono parallele ed agiscono nella stessa direzione, si può sempre applicare ai punti *A* e *B* due forze *M* ed *M'* eguali, parallele ed opposte; esse non avranno alcuna influenza, ma si potrà allora prendere la resultante delle forze *PM* e *QM'* e applicare queste due resultanti al

loro punto d' incontro O. Se in seguito si decompongono queste due resultanti parallelamente alle prime componenti, si avranno due forze M ed M' eguali, parallele ed opposte che si distruggeranno, e le forze OE, OF eguali a P e Q che agiranno nella direzione di OE, e che si potranno considerare come applicate al punto C. La resultante di due forze parallele è dunque:

1.° Parallela alle componenti.

2.° Eguale in intensità alla loro somma se ambedue agiscono nello stesso senso, e quindi alla loro differenza se agiscono in senso contrario.

3.° Il punto in cui questa resultante taglia la retta AB, a cui sono applicate le due componenti, è tale che le distanze AC e CB sono in ragione inversa delle forze P e Q.

Le due prime conseguenze sono evidenti; la terza resulta dalla similitudine dei triangoli GPA, ACO ed HQB, BCO, da cui si ricava che

$$GP : PA :: AC : CO \text{ e } QH : QB :: CB : CO.$$

Da queste due proporzioni ne resulta la seguente, poichè GP e QH sono eguali

$$PA : QB :: CB : AC,$$

per cui $\quad PA \times AC = QB \times CB,$

cioè a dire $\quad P \times AC = Q \times CB,$

che è ciò che si voleva dimostrare.

Il punto C in cui passa la resultante delle forze parallele dicesi *centro delle forze parallele*.

La posizione di questo punto resta invariabile qualunque sia l'inclinazione delle parallele componenti sulla retta AB. Infatti il punto di applicazione della resultante non è determinato che dalla sola considerazione dei punti di applicazione e delle intensità delle forze, ed è perciò indipendente dalla loro direzione.

Resultante di un numero qualunque di forze parallele. Dopo ciò che precede sarà facile trovare la resultante unica di un numero qualunque di forze che agissero su dei punti invariabilmente uniti fra loro. Basterebbe di comporle successivamente due a due colle regole prestabilite. Se le forze sono dirette nello stesso senso, la resultante totale sarà eguale alla loro somma.

Delle Coppie. Due forze eguali, parallele ed opposte che agiscono angolarmente sopra una linea *AC* (*Tav.* 1, *Fig.*19) costituiscono ciò che chiamasi *coppia.* Dopo ciò che si è detto relativamente alla resultante delle forze parallele, la resultante di una coppia è eguale a 0, e nullameno il sistema non è in equilibrio. È uno dei casi singolarissimi in cui due forze non possono essere rimpiazzate da una sola. Una coppia può essere bensì trasformata in una infinità di modi in un' altra coppia. Se si lascia agire la nostra coppia la linea *AC* prende un movimento rotatorio. Volendo nel caso della coppia ottenere equilibrio converrà distruggere separatamente l'effetto di ciascuna delle forze proposte, colla diretta opposizione di un'egual forza.

Momenti di rotazione delle forze. Per ottenere l'equilibrio tra due forze non è sempre necessario che sieno eguali ed opposte, ma basta che gli effetti che tendono a produrre sieno opposti, e che i loro sforzi sieno eguali. Allora l'equilibro si stabilisce per mezzo di un punto fisso, intorno al quale le due forze tendono a produrre del moto, e la grandezza di queste forze deve misurarsi rispetto al punto medesimo. Tale si è il caso di una verga rigida *AB* (*Tav.* 1, *Fig.* 20) sospesa ad un punto fisso *C* e capace di ruotare intorno a questo punto fisso. Supponiamo equilibrate alle estremità di questa verga due masse diverse *A* e *B* le quali ci rappresentino due forze *P* e *Q* d' intensità diversa, dirette nello stesso senso, una delle quali tenda a far ruotare la verga *AB* intorno al punto *C* in un senso, l' altra in un'altro. Ruotando la verga *AB* intorno al punto *C*, se la massa *A* descrive un arco di cerchio *A a* passando in *a*, la massa *B* descriverà un arco di cerchio *B b* passando in *b*. Ora i due corpi *A*, *B* descrivono gli archi *A a*, *B b* in egual tempo, perciò le velocità colle quali percorrono questi spazj saranno proporzionali agli spazj medesimi; ossia, gli archi *A a*, *B b*, essendo simili, saranno le velocità come i raggi *CA*, *CB*. Questi non essendo eguali, le masse *A* e *B* sono animate da una velocità diversa; bisognerà dunque per l'equilibrio, che queste masse sieno in ragione inversa delle respettive velocità, onde le quantità di movimento sieno eguali. Ma le velocità sono proporzionali ai raggi, converrà dunque per l' equilibrio

che $$A : B = CB : CA.$$
Ma A e B ci rappresentano le forze P e Q, dunque si avrà
$$P : Q = CB : CA,$$
da cui $$P \times CA = Q \times CB,$$
il che significa che i prodotti dei raggi CA, CB per le respettive forze sono eguali. Questi prodotti diconsi *momenti di rotazione* delle forze P e Q. In generale dicesi *momento di rotazione* di una forza, il prodotto della perpendicolare abbassata dal punto intorno a cui si fa la rotazione, sulla direzione della forza, per la forza stessa. Questo prodotto serve a darci la misura dell'effetto rotatorio della forza. Dopo le quali cognizioni possiamo finalmente dare in un modo generale i principj dell'equilibrio di un corpo.

Perchè adunque un corpo sia assolutamente in equilibrio, è necessario che egli non possa muoversi di un moto progressivo secondo la direzione della resultante delle forze, nè ricevere alcun movimento rotatorio. Nel primo caso, trovata la resultante di tutte le forze che agiscono sopra il corpo, sarà impedito ogni suo moto progressivo, applicando al medesimo una forza eguale e contraria a questa resultante. A distruggere ogni movimento rotatorio bisognerà che la somma dei momenti delle forze che tendono a far ruotare il sistema in un senso, sia eguale a quella dei momenti delle forze che tendono a farlo ruotare nel senso opposto.

Movimento di un corpo sottoposto all' azione contemporanea di una forza istantanea e di una forza continua. Se un punto materiale è sottoposto all'azione simultanea di una o più forze istantanee, sappiamo che per la sua inerzia si muoverà nella direzione della forza resultante con una velocità costante e indefinitamente. Ma se questo punto materiale è sottoposto in varj istanti a nuove forze, è chiaro che il suo movimento cambierà ad ogni istante, e sarà quello delle resultanti delle forze che successivamente agiscono su di lui. Se una forza continua agisse sopra un punto in moto, nella direzione della sua velocità, i piccoli impulsi di quest'ultima forza si aggiungerebbero continuamente, e, produrrebbero un moto rettilineo, la velocità del quale sarebbe acce-

lerata se la forza continua agisse nel senso della prima forza, e decrescente se agisse in senso contrario.

Supposto poi che una forza continua agisca sopra un punto materiale *A* (*Tav.* I, *Fig.* 21) simultaneamente ad una forza istantanea e in direzione diversa da questa, è chiaro che il punto materiale descriverà un seguito di piccole linee rette, *AB*, *BC*, *CD*, *DE*, le quali saranno le direzioni delle resultanti successive della forza iniziale istantanea e della forza acceleratrice nei diversi istanti. Ma siccome le azioni della forza acceleratrice si succedono in un modo continuo, queste linee rette sono infinitamente piccole, e il loro insieme forma una linea curva. Tale si è, per esempio, il caso del movimento di un projettile lanciato orizzontalmente da una bocca da fuoco, il quale descrive una curva sollecitato contemporaneamente dalla forza istantanea di projezione, e da quella continua di gravità.

Forza centripeta. Un corpo che si muove in linea curva, può, dopo ciò che si è detto, considerarsi come se si movesse sulla tangente del punto in cui trovasi; e se la forza che lo devia in ogni istante cessasse di agire, egli continuerebbe a muoversi per la tangente. Chiamasi generalmente *forza centrale* quella che in ogn'istante devia il corpo dalla sua strada per fargli descrivere una linea curva. Se il moto del corpo si considera rispetto ad un punto fisso, allora se la forza centrale tende ad avvicinare il corpo a questo punto, dicesi *forza centripeta.*

In conseguenza della tendenza che ha un corpo che si muove in linea curva di fuggire nella direzione della tangente, si genera una forza che tende a portare il corpo lungi dal centro della curva medesima, e che produce una pressione che si esercita ad ogn' istante perpendicolarmente alla stessa curva. È questa la

Forza centrifuga. Sia *A* (*Tav.* I, *Fig.* 22) un corpo ritenuto al punto fisso *C* da un filo inestendibile o da una verga inflessibile. Se si dà a questo corpo un impulso in qualsivoglia direzione tendente a discostarlo dal centro, esso descriverà necessariamente la circonferenza che ha per raggio *CA*, il che si concepisce facilmente nel modo seguente. In qualunque

punto sia giunto il corpo esso tende a muoversi secondo la tangente *AB*; ma non potendo seguire questa direzione, il suo moto si risolve in due altri, l'uno *ab* nella circonferenza, e che ha il suo effetto, l'altro *AD*, che è distrutto dal punto fisso *C*. La forza per la quale il corpo tende a fuggire per la tangente *AB*, dicesi *forza tangenziale*. La forza per la quale il corpo tende a fuggire per la normale *DA* è la forza centrifuga. Essa adunque deriva dalla forza tangenziale, ed altro non è che una delle sue componenti.

La terra, e tutti i pianeti che circolano intorno al sole, sono sottoposti all'azione delle forze centripeta e centrifuga: questa nasce dal loro movimento di rotazione, e tende ad ogni istante ad allontanarli dal sole, che è il centro del loro movimento; la forza centripeta invece, la quale nasce dall'attrazione del sole, tende costantemente ad avvicinarveli.

La produzione della forza centrifuga si rende evidente, facendo ruotare con una mano una palla di piombo legata ad una corda. Noi vediamo il filo distendersi, e la nostra mano sente lo sforzo continuo che esercita la palla di piombo per allontanarsi dal centro del movimento. Se la palla verrà ad un tratto a staccarsi dal filo essa fuggirà nella direzione della tangente sulla quale si trova. Quando la palla di questa fionda gira lentamente, la corda è poco tesa, quando invece gira velocemente, la corda si tende maggiormente. Perciò *la forza centrifuga varia proporzionalmente alla velocità di rotazione.*

Da ciò resulta che *in circoli ineguali percorsi nello stesso tempo, le forze centrifughe sono proporzionali ai raggi.*

Questa legge si può dimostrare con un apparecchio assai semplice. Consiste in una molla circolare *ab* (*Tav.* I, *Fig.* 23) infilata in un'asse *c*. Allorchè si fa ruotare quest'asse per mezzo della manovella *m*, e della corda incrociata *d*, la molla diviene ellittica, e tanto più, quanto più grande è la velocità di rotazione. I punti della molla che sono più lontani dall'asse, e che conseguentemente descrivono circoli maggiori, sono quelli che se ne allontanano maggiormente per l'azione della forza centrifuga.

Un altro apparecchio atto a dimostrare la stessa legge consiste in un filo orizzontale *AB* (*Tav.* I, *Fig.* 24) teso per

mezzo di due viti situate alle estremità del telajo *ACDB*, il cui lato orizzontale *CD*, mobile intorno ad un asse verticale *EF*, che passa pel suo centro, può ricevere un movimento di rotazione più o meno rapido. Nel filo *AB* sono infilate due palle in modo che possano muoversi col minor fregamento possibile: si pongono a diverse distanze dal centro e si fa girare la macchina: si osserva allora che le palle sono scacciate lungi dal centro con una velocità tanto più grande quanto più lontane erano in principio dal centro medesimo, e che rimangono perfettamente immobili quando ciascuna di esse è posta al centro, perchè allora le forze centrifughe delle varie parti della palla si fanno scambievolmente equilibrio.

Coi seguenti apparecchi si dimostra un'altra legge della forza centrifuga, cioè *la sua proporzionalità colla massa rotante.* Uno di questi è simile al precedente (*Tav.* I, *Fig.* 25), ma in esso si rimpiazza il filo *AB* con due tubi di vetro *MN* e *M' N'* chiusi, un poco inclinati, e contenenti dei liquidi d'ineguale densità o uno stesso liquido e dei corpi solidi più pesanti e più leggieri dell'acqua; si osserva che per la rotazione i corpi i più pesi salgono nella parte superiore dei tubi. Quest'ultimo fenomeno si spiega facilmente. La forza colla quale i corpi tendono ad allontanarsi dal centro di rotazione è proporzionale alla loro massa, quindi i liquidi più pesanti sono spinti più lungi dal centro di movimento, e dovendo muoversi in tubi inclinati salgono nella parte superiore di questi.

L'altro apparecchio consiste in un pallone di vetro, in parte pieno di acqua, capace di ruotare intorno ad un asse orizzontale. Nella sua rotazione l'acqua è tutta spinta contro le pareti, mentre l'aria raccogliesi nella sua parte centrale.

Le leggi della forza centrifuga servono a spiegare un fatto fisico importante, che riguarda la forma del nostro globo. Ognun sa che la terra non è perfettamente una sfera, ma che è alquanto schiacciata ai poli, essendo il diametro polare più piccolo di $\frac{1}{308}$ del diametro equatoriale. Si è spiegato questo schiacciamento della terra supponendola in origine di una consistenza tale da potere obbedire all'azione della forza centrifuga sviluppata per la sua rotazione; in questo caso sarebbe accaduto alla terra, ciò che abbiamo veduto accadere

alla molla circolare ruotante sull' asse. Vedremo nel trattato del calore, che vi sono dei fatti, i quali mostrano che realmente la terra era in origine di materia semifusa, e che tuttora conserva il suo nucleo in questo stato.

Comunicazione del moto. La maggior parte delle forze che mettono i corpi in moto non agiscono in modo diretto che sopra un piccolo numero delle molecole che li compongono. Così quando si urta una palla di biliardo, si toccano solo pochi punti della sua superficie; quando il vento spinge una nave non urta che le vele, e quando la polvere spinge una palla di cannone, i gas che si sviluppano e che danno l' impulso non toccano e non spingono che il suo emisfero interno. Nullameno tutte le parti di questi corpi si muovono, tanto quelle sulle quali agisce direttamente la forza quanto quelle sulle quali non agisce. Bisogna adunque che accada una eguale distribuzione del moto fra tutte le molecole, e che solo quando questa divisione si è operata il corpo cominci a muoversi. Le molecole che sono direttamente urtate spingono le vicine, queste le seguenti, e così di seguito finchè tutta la massa sia tolta dallo stato d' inerzia e che tutte le parti si muovano di un moto comune. Onde il moto passi da una molecola all'altra e si spanda in tutta la massa si esige un certo tempo, che non è molto grande ma neanco infinitamente corto: esso dipende dalla massa e dalla natura del corpo, ed è questa la ragione per la quale, come si diceva poc' anzi, non vi sono mai movimenti istantanei.

Quando un corpo in moto incontra un corpo in riposo o un altro corpo in moto, si producono degli effetti particolari che dipendono dalla elasticità, dalla durezza e dalla massa relativa dei corpi. Per elasticità s' intende quella proprietà dei corpi di cambiare di forma per una forza esteriore, e nel riprenderla cessata la forza. Cotale proprietà si rende evidente con una lastra di acciajo tenuta fissa ad una sua estremità dentro una morsa. Se si preme all' altra estremità, la lastra s' incurva, ed allorquando si cessa di premerla riprende la sua posizione naturale. Fino ad oggi la scienza non è giunta a far l' analisi dei fenomeni dell' urto dei corpi se non che supponendo questi perfettamente elastici, o supponendoli

completamente privi di elasticità; ipotesi che non sono vere nè l'una nè l'altra, ma da cui deduconsi nullameno alcune regole semplici che sono utilissime nella pratica. Noi non possiamo qui considerare che i corpi senza elasticità; i singolari fenomeni dei corpi elastici saranno da noi studiati in seguito:

1.° Quando due masse eguali non elastiche e animate dalla stessa velocità vengono ad urtarsi direttamente, esse arrestansi ad un tratto e restano in riposo nel luogo stesso in cui l'urto ha avuto luogo. È un principio da per sè stesso *evidente*, giacchè queste masse non possono rimbalzare essendo prive di elasticità, e l'una non può trascinare l'altra e spingerla dinanzi a sè, poichè tutto è eguale nei due opposti sensi. Così due palle di piombo perfettamente eguali che fossero lanciate nello stesso tempo colla stessa forza, giungendo l'una presso l'altra colla stessa velocità si appianerebbero, perchè esse non sono nè abbastanza dure nè abbastanza elastiche, e rimarrebbero senza movimento. Se esse cadono dopo l'urto, ciò è un effetto del loro peso e non di un resto di velocità che non sia stato distrutto.

2.° Questo principio si applica alle masse ineguali, alla sola condizione che le loro quantità di movimento sieno eguali tra loro; cioè a dire che se una delle masse è doppia dell'altra, basta che questa abbia una velocità doppia per essere capace di arrestare la prima; una massa che fosse cento volte più piccola dovrebbe avere una velocità cento volte più grande per produrre lo stesso effetto, e così di seguito: una palla di piombo di 25 grammi ne fermerebbe una di colubrina del peso di 500 grammi se avesse una velocità venti volte più grande di quest' ultima. Due quantità di movimento eguali e contrarie si distruggono completamente quando l'elasticità non è in giuoco, perchè esse sono in realtà due forze eguali e contrarie.

3.° Quando le quantità di movimento sono ineguali è la maggiore che vince; il mobile che ne è animato spinge dinanzi a sè l'altro mobile, lo costringe a tornare indietro, e a partire da quell'istante si muovono insieme con una velocità comune. Allora la quantità di movimento che resta non è che la differenza delle due quantità di movimento primitive; e sic-

come è applicata alla somma delle due masse, si vede che la velocità residua non è altro che questa differenza delle quantità di movimento divisa per la somma di queste masse. Se i mobili andassero nello stesso senso, le quantità di movimento si aggiungerebbero, e la velocità comune che succederebbe all' urto sarebbe allora la somma delle quantità di movimento divisa per la somma di queste masse.

Queste conseguenze si applicano al caso in cui un mobile incontra un corpo in riposo; giacchè per avanzare è costretto di spingere dinanzi a sè questo corpo, e conseguentemente di comunicargli una tal quantità di movimento, che dopo l'urto si muovano insieme con una velocità comune. Se la massa del corpo in riposo è eguale a quella del mobile, è chiaro che dopo l'urto il moto sarà egualmente diviso fra le due masse, e la velocità non dovrà essere che la metà, poichè la massa è divenuta doppia; essa non sarebbe che il terzo della velocità primitiva se la massa in riposo fosse doppia della massa del mobile; e si vede che in generale il rapporto fra la velocità dopo l'urto e quella prima dell' urto, è lo stesso che fra la massa del corpo in moto e la somma della massa in moto colla massa in quiete; onde per avere il primo basta dividere la massa del mobile per la somma delle masse del mobile e del corpo in riposo.

Sia V la velocità della massa M in moto, M' la massa in quiete e V' la velocità delle due masse dopo l'urto, è chiaro pei principj esposti che

$$VM = V' \, (M + M'),$$

da cui si ha che

$$\frac{V'}{V} = \frac{M}{M + M'}$$

e quindi

$$V = \frac{V' \, (M + M')}{M}.$$

Così il movimento si comunica e non si perde mai: quando sembra estinguersi ciò dipende in realtà perchè esce dal mobile per passare nei corpi che trovansi sulla sua strada, e da questi successivamente nei contigui dove diviene insensibile

per la grande diffusione che prova. Per distruggere un movimento è necessario un movimento: le resistenze, gli *attriti*, come si chiamano, lo disperdono, ma non lo distruggono.

È sugli esposti principj che è fondato un istrumento destinato a determinare la velocità dei projettili, e che ha ricevuto il nome di *Pendolo Balistico*.

Consiste il pendolo balistico in una scatola conica di bronzo *D* (*Tav.* I, *Fig.* 26), sospesa all'estremità di un'asta di ferro *g h*, terminata essa stessa nella sua parte superiore da un asse orizzontale formato da due orecchioni a coltello che posano su dei piani di acciajo fuso. Questo sistema costituisce adunque un pendolo mobilissimo. La scatola *D* contiene una massa di piombo, nella quale va ad immergersi la palla. L'asta è fornita di un appendice nel punto *r*, la quale si muove sull'arco graduato *l k* e spinge un indice che si muove a sfregamento sull'arco medesimo. Una palla di fucile o qualunque altro projettile scagliato contro la scatola del pendolo lo pongono in movimento, e dall'arco percorso dall'indice per l'urto, si calcola la velocità ricevuta. Conosciuta la quale nulla più s'ignora, perchè le due masse si conoscono, e la velocità del projettile, che è l'incognita, si deduce dalla formola

$$V = \frac{V' (M + M')}{M}$$

cioè a dire è eguale al quoziente che si ottiene dividendo per la massa del projettile il prodotto della velocità dopo l'urto per la somma delle due masse.

Nella comunicazione del movimento si presentano dei fenomeni singolari, che dipendono dallo stato di aggregazione dei corpi e dalla rapidità colla quale il movimento può trasmettersi di molecola in molecola nell'interno di una stessa massa. Si sa p. es. che una palla di fucile traversa una lastra di vetro senza romperla e che vi fa solamente un foro della grandezza della palla. Ora ciò non dipende che dalla estrema velocità della palla, poichè se si scaglia colle mani la medesima palla contro la stessa lastra, la mette in pezzi. Quando la palla è posta in moto dalla forza espansiva della polvere, le molecole della lastra da lei toccate sono trasportate con tal

velocità, che non hanno il tempo di trasmettere all' intorno il movimento che ricevono. È per la stessa ragione che si è visto non di rado una palla di cannone dividere in due parti la canna del fucile di un fante, senza che questi risentisse la minima impressione. Parimente, si credeva che una bomba potesse trascinar seco una corda ad essa avvolta, la quale non avesse che a svolgersi per seguirne il movimento; ma l'esperienza ha mostrato che ciò non può effettuarsi e che la corda si spezza e non segue la bomba a meno che non abbia una tenacità particolare. Sarebbe necessario che l' adesione fra le molecole della corda fosse tale da resistere alle trazioni che riceve ad ogni istante.

Un altro fenomeno di comunicazione di movimento, si è quello che si prova stando in una carrozza, quando questa si pone in moto con una certa velocità. Le nostre spalle vanno ad urtare contro la sua parete posteriore. Quando invece la vettura si arresta ad un tratto, la nostra persona è spinta in avanti. Ciò dipende perchè nel primo caso il nostro corpo, non avendo che poca aderenza colle varie parti della carrozza, è necessario un certo tempo prima che il movimento di essa gli si comunichi. Perciò tutte le parti della carrozza sono in moto prima assai che lo sia il nostro corpo, e quindi questo viene ad essere urtato dalla parete posteriore della carrozza. Nel secondo caso invece tutte le parti della carrozza si pongono in quiete assai prima della nostra persona, la quale è spinta contro la parete anteriore che è divenuta immobile.

Lo stato di aggregazione delle parti costituenti il corpo urtato ha dunque molta influenza sulla comunicazione del movimento. In un corpo in cui le molecole saranno molto vicine e strettamente unite, il movimento si comunicherà rapidamente a tutta la massa, e l' impulso produrrà su di essa tutto il suo effetto; invece in un corpo le cui molecole saranno assai lontane e debolmente unite, l' impulso produrrà tutto il suo effetto soltanto sulle molecole su cui direttamente agisce; e queste non potranno comunicare il loro movimento alle vicine, come accade nei corpi fragili; ovvero le molecole colpite cederanno all' urto e seguiranno il movimento del projettile togliendogli una porzione della sua velocità; e questo

seguitando il suo cammino incontrerà nuove molecole a cui pure comunicherà il suo movimento, e così proseguendo verrà a poco per volta a perdere intieramente la sua velocità ed a cessare di muoversi; e ciò avviene nell'urto dei corpi molli.

Tali principj ci spiegano perchè una muraglia costruita di parti consistenti e dure, crolli più facilmente sotto i colpi del cannone di una costruita di parti fragili o molli; ed anco perchè le materie soffici e cedevoli, come dei cuscini o delle balle di cotone smorzino ed estinguano i colpi dei projettili. Galileo diceva con ragione, *che la misura della forza della percossa si deve prendere non dal corpo che percuote, ma più presto da quello che riceve la percossa.*

Delle Macchine. Dicesi macchina ogni istrumento destinato a trasmettere nel modo più vantaggioso l'azione delle forze ad un corpo o ad un peso a cui vuolsi imprimere un certo movimento secondo una determinata direzione.

Nell'uso delle macchine non si ha sempre lo scopo di aumentare l'azione di cui sarebbe capace la forza motrice quando operasse direttamente sul mobile. Talvolta si ha bisogno unicamente di trasmettere l'azione in una determinata direzione. Altre volte si ha solo in vista di accrescere la velocità a scapito della intensità; altre volte di convertire l'effetto di una forza in quello di un'altra, come nell'orologio in cui si cambia l'effetto di una forza continua in un moto uniforme.

Siccome l'oggetto più interessante di una macchina si è quello di aumentare l'azione di una forza, così la teorica si occupa principalmente a determinare una certa forza che sia capace di vincere una data resistenza. Per ottenere un tale effetto si procura primieramente di ridurre la forza e la resistenza allo stato di equilibrio, perchè allora si può subito far prevalere l'una all'altra.

Quindi il problema generale intorno alle macchine si riduce a determinare l'equilibrio tra una forza qualunque ed una qualunque resistenza. Questo problema si risolve col trovare nelle macchine un punto di appoggio interno a cui si possa fare equilibrio tra la forza e la resistenza. Perciò la cognizione di una macchina comprende essenzialmente tre

cose: la forza motrice, la resistenza da vincersi, ed il punto di appoggio che è comune alla resistenza ed *alla forza.*

La forza motrice, detta anche *potenza*, che si applica alle macchine, è tutto ciò che può produrre un moto uniforme. Secondo le varie occorrenze, essa è talora l'urto momentaneo, sempre ripetuto, di un fluido, per es. dell'acqua o dell'aria; talvolta è l'azione di una molla o quella di un corpo grave o di un animale. La resistenza consiste nella somma degli ostacoli che fanno contrasto alla forza. Infatti se vuolsi determinare con precisione l'effetto di una macchina data, fa d'uopo sottomettere al calcolo non solo l'ostacolo principale contro cui la forza è applicata, ma ancora l'attrito, la rigidezza delle funi, ec. Finalmente il punto di appoggio, è ciò che sostiene la potenza da una parte, e la resistenza dall'altra; e può riguardarsi come una forza che opera in direzione opposta alla potenza ed alla resistenza.

Le macchine procurano all'uomo grandi vantaggi, imperocchè gli permettono d'impiegare più utilmente e più comodamente le forze che sono a sua disposizione. Così p. es. se trattisi d'inalzare a qualche altezza un corpo molto pesante, non si potrà spesse volte eseguire tal cosa coll'applicazione immediata delle braccia degli uomini; ma per mezzo di una qualche macchina potranno essi operare senza scomporsi, e far uso delle loro forze naturali in una maniera comoda e vantaggiosa. Sebbene vi sia un'infinità di macchine differenti, si possono non di meno considerare tutte come resultanti dalla varia combinazione di un piccol numero di macchine semplici. Queste possono ridursi a sei, e sono: la *leva*, la *carrucola o puleggia*, il *tornio*, il *piano inclinato*, la *vite* ed il *cuneo.*

Della leva. La leva è una verga inflessibile, retta o curva, libera di ruotare intorno ad un punto di appoggio fisso, e destinata a mettere in equilibrio delle potenze. Chiamasi braccio della leva la lunghezza della perpendicolare abbassata dal punto di appoggio sulla direzione o prolungamento della forza. Le forze applicate alla leva prendono al solito i nomi l'una di potenza, e l'altra di resistenza.

Siccome l'uso più ordinario della leva si è quello di sostenere un peso per mezzo di una potenza e di un appoggio, così le differenti situazioni che il peso e la potenza possono avere rispetto al punto di appoggio hanno fatto immaginare tre generi di leva.

Dicesi *leva di 1.° genere* quella in cui il punto di appoggio A (*Tav.* II, *Fig.* 27) è situato tra il peso o resistenza R, e la potenza P. Il peso e la potenza agiscono nello stesso senso, e il punto di appoggio è posto sotto la leva.

La *leva di 2.° genere* è quella in cui la resistenza R è posta tra il punto di appoggio A (*Tav.* I, *Fig.* 28) e la potenza P. La potenza ed il peso agiscono in senso contrario, e l'appoggio è pure situato sotto la leva.

Finalmente nella *leva di 3.° genere*, la potenza P (*Tav.* II, *Fig.* 29) è situata tra il punto di appoggio e la resistenza; il punto di appoggio è situato al di sopra della leva, e la potenza e la resistenza agiscono in senso contrario.

Ciò posto vediamo primieramente quali sono le condizioni di equilibrio della leva retta, dove la resistenza R e la potenza P sono applicate ai punti B e C nelle direzioni parallele BR e CP. In tal modo AB sarà il braccio di leva della resistenza e AC quello della potenza. Ora per l'equilibrio di queste due forze egli è necessario e basta che la loro resultante venga a passare pel punto di appoggio A. Ma la forze essendo parallele, la loro resultante taglia la retta che congiunge i loro punti di applicazione in parti inversamente proporzionali a queste forze, dunque la retta BC dev'essere talmente divisa nel punto A da avere la proporzione

$$R : P :: AC : AB$$

il che mostra che *nel caso dell'equilibrio, la resistenza e la potenza sono in ragione inversa dei loro bracci di leva.* Se ne deduce che

$$R \times AB = P \times AC$$

ossia che per l'equilibrio della leva il momento di rotazione della potenza deve essere eguale al momento di rotazione della resistenza.

Il carico che sopporta il punto di appoggio, ed al quale dev'essere capace di resistere, è espresso dalla resultante

delle due forze P ed R. Quindi questo carico sarà eguale alla somma $P + R$, quando le forze P ed R operano nello stesso senso, come nella leva di 1.° genere, e sarà eguale all'eccesso della più grande sulla più piccola quando la forze P ed R sono dirette in senso contrario, come nelle leve di 2.° e 3.° genere.

Le leve si adoprano nelle arti e negli usi più ordinarj della società. Sono leve di primo genere le forbici comuni, le cesoje, le tanaglie ec.: lo sforzo della mano o delle dita che premono i due manichi costituisce la potenza; la vite che le tiene unite è il comune punto di appoggio, e ciò che si taglia o si stringe è la resistenza. Anche la bilancia e la stadera sono leve di primo genere. La prima ha le sue braccia eguali; la seconda ineguali. Sono leve di 2.° genere i remi che mandano avanti un battello, dove l'acqua è l'appoggio di una delle sue estremità, la mano che opera all'altra estremità è la potenza, e nel mezzo del remo v'è la resistenza, cioè il battello che si spinge; il coltello da panattiere, che fissato per la punta sulla tavola, e girando intorno a un punto fisso, é portato dalla destra contro la resistenza da vincere; i soffietti da camminetto o da fabbrica, dove la vera resistenza è la massa d'aria rinchiusa ec. ec. Sono leve di 3.° genere i pedali dell'organo e delle macchine da arruotino, come pure le molle comuni che sono destinate a trasportare dei tizzoni, i quali formano la resistenza; la mano che le fa agire, è la potenza, e il punto di appoggio trovasi nel punto in cui si uniscono le due leve che le compongono. Il braccio dell'uomo nel sostenere un peso alla sua estremità fa pure l'ufficio di una leva di 3.° genere, in cui il punto di appoggio trovasi nell'articolazione del gomito, i muscoli applicati poco distante dal gomito sono la potenza, e la resistenza è il peso da innalzarsi.

I tre generi di leve hanno delle proprietà differenti per riguardo alla potenza ed alla resistenza.

1.° *Nella leva di primo genere la potenza può essere eguale, maggiore o minore della resistenza*, perchè il braccio AB può essere eguale, maggiore o minore del braccio AC.

2.° *Nelle leva di 2.° genere la potenza è sempre minore della resistenza*, poichè il braccio AC è sempre maggiore del braccio AB.

3.° *Finalmente nella leva di 3.° genere la potenza è sempre maggiore della resistenza*; perchè il braccio AC della potenza è sempre minore di quello AB della resistenza.

Quando si farà passare una leva dalla quiete al moto, nei primi due casi la potenza anderà più veloce della resistenza, precisamente nella stessa ragione in cui la potenza sarà minore della resistenza, e nel terzo caso la potenza anderà meno veloce della resistenza nella stessa ragione in cui la potenza è maggiore della resistenza; imperciocchè in tutti i casi, le velocità della potenza e della resistenza sono proporzionali agli archi simili che esse descrivono nello stesso tempo, ovvero alle distanze delle loro direzioni dal punto di appoggio. Quindi nei primi due generi di leva si perde in tempo ciò che si guadagna in forza, e nel terzo genere si perde in forza ciò che si guadagna in tempo. Per rischiarare la cosa con un esempio, supponiamo che per mezzo di una leva di primo genere si voglia sostenere un peso di cento libbre con una forza equivalente a sole dieci libbre; la cosa sarà facile adoprando il braccio della potenza dieci volte più lungo di quello della resistenza. Ma se vogliasi comunicare del movimento a questa resistenza, dopo avere aumentato la potenza di quanto è necessario ad ottenere l'intento, si riconoscerà immantinente che la potenza deve percorrere nello stesso tempo uno spazio dieci volte più grande di quello che percorre la resistenza. Quindi è che a sollevare un peso ad un piede di altezza, dovrà il punto in cui è applicata la potenza discendere di 10 piedi, e se la potenza non può percorrere questi dieci piedi che in un minuto di tempo, il peso non salirà che di un piede per minuto.

Più leve combinate insieme formano un *sistema di leve*. Ad una leva BC (*Tav.* II, *Fig.* 30), a cui sia attaccato un peso R, che possa equilibrarsi con una potenza P applicata in C, si unisca un'altra leva $B'C'$ posta in modo che la reazione da vincersi dalla forza P serva di resistenza a questa seconda leva $B'C'$; e a questa seconda leva $B'C'$, se ne applichi una terza $B''C''$, che del pari tenga luogo di potenza, e di cui la resistenza sia lo sforzo che la leva $B'C'$ fa contro l'estremità B''. Sia infine applicata a quest'ultima leva la potenza

P' che fa equilibrio al peso R. Qual sarà il rapporto tra questa potenza e quella resistenza?

Chiamiamo S ed S' gli sforzi delle leve $B' C'$ e $B'' C''$ respettivamente contro le leve BC e $B' C'$. Siccome nella prima leva la potenza consiste nello sforzo S; avremo che

$$R : S :: AC : AB,$$

e nella seconda la potenza consistendo nello sforzo S', mentre la resistenza è lo sforzo S, si avrà

$$S : S' = A' C' : A' B'$$

Infine per l'equilibrio dell'ultima leva si avrà che

$$S' : P' = A'' C'' : A'' B''$$

Moltiplicando per ordine i termini di queste tre proporzioni avremo

$$R : P' = AC \times A' C' \times A'' C'' : AB \times A' B' \times A'' B''$$

dal che si conclude che *in un sistema di leve la potenza sta alla resistenza, come il prodotto dei bracci di resistenza sta al prodotto di quelli di potenza.*

Vedesi da ciò che moltiplicando il numero delle leve e disponendole in modo che col braccio più lungo favoriscano sempre la potenza, si potrà con una piccolissima potenza equilibrare un peso enorme. Quindi non è da meravigliare se il celebre Archimede affermava che datogli un punto d'appoggio fuor della terra avrebbe potuto sollevare il globo.

Della puleggia. Questa macchina, detta anche *carrucola*, è una girella o una ruota AB di legno o di metallo (*Tav.* II, *Fig.* 31 e 32) la cui circonferenza ha una scanalatura per ricevere una fune tirata da una parte e dall'altra da due potenze R e P. Essa è attraversata perpendicolarmente al suo centro C da un'asse o caviglia, che gira liberamente e che è sostenuta dalle branche di una staffa o incassatura CD in cui la ruota gira. La puleggia dicesi *fissa* (*Tav.* II, *Fig.* 31) quando la staffa è attaccata ad un punto fisso H, e la potenza P e la resistenza R sono applicate ai capi della fune che s'accavalla alla girella. La puleggia dicesi *mobile* (*Tav.* II, *Fig.* 32) quando alla staffa CD è appesa la resistenza R, e la carrucola si muove con la resistenza medesima restando fisso in H un capo della fune.

Cominciamo a studiare le condizioni di equilibrio della carrucola fissa. Supponiamo che una corda perfettamente fles-

sibile *PADBR* (*Tav.* II, *Fig.* 33) passi nella scanalatura della carrucola ed abbracci un arco *ADB* della sua circonferenza; applichiamo alle estremità di questa fune delle forze *P* ed *R* che agiscano nelle direzioni *AP* e *BR* tangenti alla carrucola nei punti *A* e *B*. Prescindendo dall'attrito della fune contro la scanalatura della carrucola, egli è evidente che per l'equilibrio dovrà essere $P=R$, perciocchè se queste forze fossero disuguali, la corda scorrerebbe dalla parte della più grande. Si può giungere alla stessa conclusione cercando la necessaria condizione per la quale la resultante delle forze *P* ed *R* venga a passare pel punto fisso *C*; e determinando la grandezza di questa resultante si ha il vantaggio di conoscere la pressione che questo punto sopporta. Prolunghiamo pertanto le tangenti *AP* e *BR* finchè s'incontrino nel punto *O*; trasportiamo le forze *P* ed *R* al punto *O* comune alle loro direzioni; la loro resultante passerà per questo punto. Ma siccome il centro *C* della carrucola è il solo punto fisso che esiste nella macchina, così essa dovrà altresì passare pel punto *C*, affinchè ivi possa esser distrutta: dunque questa forza dovrà esser diretta secondo *OC*. Ora la retta *OC* divide in due parti eguali l'angolo *POR* delle due componenti; dunque fa d'uopo che sia $P=R$, senza di che la direzione della resultante non coinciderebbe colla retta *CO*. Ciò posto se prendansi sulle direzioni *OP* ed *OR* delle parti eguali *Oa* e *Ob* per rappresentare le componenti, e compiasi il parallelogrammo *Oacb*, la resultante sarà rappresentata dalla diagonale *Oc*, ed esprimerà la pressione che sopporta il punto fisso *C*. Dunque chiamando x questa pressione si avrà

$$x : P :: Oc : Oa,$$

ma i due triangoli isosceli *Oac* e *ACB*, che hanno i lati perpendicolari fra loro sono simili e danno

$$Oc : Oa :: AB : AC,$$

dunque si avrà

$$x : P :: AB : AC,$$

cioè a dire, una delle due forze eguali applicate alla carrucola fissa, essendo rappresentata dal raggio *CA*, la pressione che prova il suo centro è rappresentata dalla corda *AB* dell'arco *ABD* abbracciato dalla fune. Questa pressione è la massima quando le due forze sono parallele, perciocchè allora la

fune abbraccia la semicirconferenza della carrucola, la corda diviene il diametro, e la pressione resulta il doppio di una delle due forze, ossia è eguale alla loro somma.

Adunque *nella carrucola fissa, la potenza eguaglia sempre la resistenza, e la pressione che sopporta il punto fisso C della medesima, è misurata dall'arco abbracciato dalla fune.*

La carrucola fissa offre il mezzo di cangiare la direzione di una forza senza aumentare nè diminuire la sua intensità. Sia p. es. la fune *PDR* attaccata ad un mobile colla sua estremità *R*, e la forza *P* sia sempre applicata alla estremità *P*, secondo la direzione *AP*; col mezzo della carrucola fissa *ADBC* la forza *P* agirà sul mobile secondo la direzione *BR*; ma lo sforzo che essa eserciterà sopra questo corpo non sarà nè più grande nè più piccolo che se fosse immediatamente applicata al punto *R*, secondo questa direzione *RB*.

Da quanto si è detto fin quì chiaramente si scorge che la carrucola fissa non può favorire la potenza, nè rispetto alla forza nè rispetto al tempo. Ma essa è molto vantaggiosa, in quanto che offre alla potenza un modo di operare assai comodo, quando si tratta di comunicare del moto ad una resistenza. Debbasi p. es. cavare dell'acqua da un luogo profondo. Se per mezzo p. es. di un secchio sospeso ad una corda volessimo cavare quest'acqua direttamente coll'operare dal basso all'alto, non potremmo ciò effettuare che con grande stento, ed i muscoli del nostro corpo non poco soffrirebbero da questo modo di operare. Ma se avvolgendo la corda ad una carrucola fissata al di sopra del pozzo, si caverà l'acqua nel modo usato, la fatica sarà assai minore, poichè in tal caso si opera dall'alto al basso, e si può in tal guisa ajutare l'azione dei muscoli col peso del corpo medesimo.

Esaminiamo ora le condizioni di equilibrio della carrucola mobile.

In questa puleggia (*Tav.* II, *Fig.* 34) il centro *C* è perfettamente libero; la fune *PADBQ* è attaccata colla sua estremità *Q* ad un punto fisso; si applica all'altra estremità *P*, nella direzione *PA*, una forza data *P*, e si sospende alla estremità *H* della cassa un peso *R*, che si riguarda come la resistenza, ed è tenuto in equilibrio dalla potenza *P*. Per

trovare il rapporto fra la potenza e la resistenza nella carrucola mobile, qualunque sieno le direzioni delle funi, si conduca da B la retta BG perpendicolare alla direzione CD del peso R, e questa perpendicolare prolungata passerà pel punto A, ed AB verrà a resultare la corda dell'arco ADB abbracciato dalla fune. Si guidi pure da B la retta Ba perpendicolare alla direzione Pa della fune. Ciò posto, è chiaro che la carrucola mobile, potendo considerarsi come una leva di secondo genere in cui il punto di appoggio è in B, il braccio di leva appartenente alla resistenza R è BG, e quello che favorisce la potenza è Ba; e siccome per l'equilibrio i momenti di rotazione devono essere eguali sarà

$$R \times BG = P \times Ba$$

ossia

$$P : R :: BG : Ba :: AG : Ba.$$

Ora condotto il raggio AC, esso riuscirà perpendicolare alla tangente PA e quindi parallelo a Ba; perciò il triangolo BaA sarà simile al triangolo AGC, e si otterrà

$$AG : Ba :: AC : AB$$

dunque

$$P : R :: AC : AB$$

cioè, *nella carrucola mobile la potenza sta alla resistenza, come il raggio della carrucola sta alla corda dell'arco abbracciato dalla fune.*

Il caso più favorevole alla potenza ha luogo quando le funi PA e QB sono parallele, poichè in questo caso il braccio di leva della potenza P è il diametro AB, doppio del raggio BC, braccio di leva della resistenza R; e quindi la potenza P sta alla resistenza $R :: 1 : 2$, cioè a dire $R = 2P$; cosicchè in questo caso una data forza P fa equilibrio con una forza doppia R. Quando l'arco abbracciato dalla fune è di 60° la sua corda eguaglia il raggio; cosicchè in questo caso la carrucola mobile non porta alcun vantaggio, perchè la potenza P è eguale alla resistenza R. Quando la corda è minore del raggio, la carrucola mobile pregiudica l'azione istantanea della potenza: a misura che la corda AB va crescendo, si

accresce pure il vantaggio della potenza finchè la corda AB diviene il diametro, nel qual caso, come si è detto, si ha il massimo vantaggio. In tutti i casi la pressione che soffre il punto fisso Q, o ciò che è la stessa cosa, la tensione della fune QB è eguale alla forza P.

Più carrucole combinate insieme formano un *sistema di carrucole*. Attacchiamo p. es. all'estremità H della cassa di una prima carrucola mobile (*Tav.* II, *Fig.* 35) $ADBM$ una fune $HA'D'B'Q'$, che passi in seguito nella scanalatura di una seconda carrucola mobile $A'D'B'M'$, e che vada ad annodarsi al punto fisso Q'; attacchiamo parimente alla estremità di questa seconda carrucola una fune $H'A''D''B''Q''$ che passi per una terza carrucola $A''D''B''M''$ per andare ad annodarsi al punto fisso Q''. Finalmente sospendiamo alla cassa $C''H''$ un peso R, e consideriamo questo peso come la resistenza, che è tenuta in equilibrio da una potenza P applicata alla prima carrucola secondo la direzione PA. Ciò posto, sussistendo l'equilibrio tra queste carrucole, se si chiamino T, T' le tensioni delle funi HA', $H'A''$ si avranno le proporzioni

$$P : T :: CA : AB$$
$$T : T' :: C'A' : A'B'$$
$$T' : R :: C''A'' : A''B''$$

le quali moltiplicate per ordine danno

$$P : R :: CA \times C'A' \times C''A'' : AB \times A'B' \times A''B''$$

dal che si conclude che *nei sistemi di carrucole, la potenza sta alla resistenza, come il prodotto dei raggi delle carrucole, sta al prodotto delle corde.*

Le pressioni dei punti fissi Q, Q', Q'', ossia le tensioni delle funi QB, $Q'B'$, $Q''B''$ sono espresse da P pel punto Q, da $P \times \frac{AB}{AC}$ pel punto Q', e finalmente da $P \times \frac{AB}{AC} \times \frac{A'B'}{A'C'}$ pel punto Q''.

Questi resultati possono estendersi ad un numero qualunque di carrucole mobili disposte nello stesso modo. Ne segue come caso particolare, che se tutte le funi che terminano a queste carrucole sono parallele, come nella *Figura* 36.ª, la potenza starà alla resistenza come il prodotto dei raggi al prodotto dei diametri, cioè a dire, denotando con n il numero delle

carrucole mobili, e con l'unità il raggio, come l'unità sta a 2^n. Quindi ne succede che i sistemi di carrucole a funi parallele sono i più vantaggiosi, perchè è in essi che per l'equilibrio la potenza viene a maggiormente diminuire.

I sistemi di carrucole più comunemente adoperati sono le così dette *taglie* o *polispasti*, nelle quali le varie carrucole che le compongono in parte fisse ed in parte mobili sono raccolte nella stessa incassatura in cui si muovono o sopra lo stesso asse o sopra assi particolari (*Tav.* II, *Fig.* 36 e 37). La taglia rappresentata dalla *Figura* 36.ª è formata di due carrucole fisse raccolte in una cassa *OV*, e di un egual numero di carrucole mobili raccolte in un' altra cassa *AK*; la medesima fune abbraccia tutte queste carrucole passando alternativamente da una carrucola fissa ad una carrucola mobile, e tutte le parti *EB*, *FC*, *E' B'*, *C' F'* di questa fune, che vanno da una carrucola all' altra, sono parallele. Questa fune è attaccata colla sua estremità *F'* alla cassa delle carrucole fisse: un peso dato *P* è sospeso all' altra sua estremità, ed un peso *R* è parimente attaccato alla cassa delle carrucole mobili; inoltre si deve in questo peso *R* comprendere il peso delle carrucole mobili, della loro cassa e delle funi che le legano alle carrucole fisse: il peso *P* è riguardato come la potenza; il peso *R* come la resistenza. Quale sarà il rapporto di queste due forze nel caso dell' equilibrio?

Poichè le funi *EB*, *FC* ec., formano le parti di una stessa fune, debbono tutte provare la medesima tensione nel senso della loro lunghezza, giacchè è impossibile che una fune sia disegualmente tesa nelle varie sue parti. Se pertanto si risolva la forza *R* in altrettante forze parallele ed eguali, quante sono le funi impiegate a sostenere questo peso, cioè a dire, nel proposto esempio, in quattro forze dirette secondo le funi *EB*, *FC*, *E' B'*, *F' C'*, queste componenti eguali esprimeranno le tensioni di queste funi. Laonde ciascuna di queste quattro funi è tirata nel senso della gravità da una forza eguale ad $\frac{1}{4}$ *R*; cosicchè la fune *EB* è nello stesso caso che fosse pendente dalla sua estremità inferiore un peso eguale ad $\frac{1}{4}$ *R*. Ora la stessa fune è tirata in senso contrario dalla forza *P*; dunque per l'equilibrio si avrà $P = \frac{1}{4} R$, ossia $R = 4P$. Conseguen-

temente nella taglia in discorso la potenza *P* fa equilibrio con una resistenza eguale a *4P*.

In generale si può dire, *che nelle taglie a tratti di fune paralleli, la potenza sta alla resistenza, come l'unità sta al numero delle porzioni di fune comprese fra le carrucole fisse e le carrucole mobili*

Del tornio. Il tornio è in generale una ruota attraversata perpendicolarmente da un cilindro, le cui estremità posano sopra due appoggi (*Tav.* II, *Fig.* 40,). Una potenza *P* applicata in direzione tangenziale alla circonferenza della ruota, obbliga la ruota ed il cilindro a girare intorno al loro asse sopra gli appoggi, ed in virtù di questo movimento si avvolgono successivamente al cilindro le diverse parti della fune alla quale è attaccato il peso che vuolsi inalzare o tirare verso la macchina. Talvolta invece di una ruota si piantano nel corpo del cilindro perpendicolarmente al suo asse dei bastoni ai quali si applica la potenza, e talora le estremità del cilindro sono terminate da due manovelle alle quali si applica la potenza. In questi casi il tornio prende il nome di *Verricello* o *Burbola* (*Tav.* II, *Fig.* 38). Il verricello si adopra per cavare con facilità l'acqua dai pozzi. Se il verricello è verticale prende il nome di *argano*, il quale serve a trascinare dei massi assai pesanti (*Tav.* II, *Fig.* 39). I grandi massi tirati coll'ajuto dell'argano si sogliono fare scorrere sopra dei cilindri di legno o di ferro che diminiscono molto la resistenza d'attrito. L'enorme masso di granito, che sostiene la statua di Pietro il Grande a Pietroburgo, fu trascinato per mezzo dell'argano e fatto scorrere su delle sfere di ferro che si movevano in apposite scanalature. Si fa un uso frequente dell'argano nella costruzione degli edifizj, e specialmente nella marina.

Qualunque sia la disposizione del tornio, egli è facile intendere che l'azione di questa macchina si riduce a quella di una leva, in cui il braccio della potenza è *C a*, raggio della ruota (*Tav.* II, *Fig.* 40) e quello della resistenza *C b*, raggio del cilindro, ond'è chiaro che, prescindendo dall'attrito e dalla rigidezza della fune, dovrà per l'equilibrio aversi *la potenza alla resistenza come il raggio del cilindro a quello della ruota.*

Varie macchine si possono in tutto o in parte riferire al tornio; tali sono il *martinetto*, le *ruote dentate* ec.

Il martinetto semplice è composto di una sbarra AB (*Tav.* II, *Fig.* 41) guarnita in una delle sue facce di denti di ferro, e mobile in una cassa CE. I denti della sbarra AB ingranano con quelli di un rocchetto, o cilindro scannellato D, che si fa girare sopra il suo asse col mezzo della manovella NM. I denti del rocchetto sollevano la sbarra, e fanno quindi salire un peso posto in A. Considerando lo sforzo che ciascun dente del rocchetto fa in D per sollevare la sbarra, come un peso da alzarsi, egli è chiaro, dopo ciò che abbiamo detto intorno al tornio, che la potenza applicata alla manovella, sta a questo peso, come il raggio del rocchetto sta al braccio MN della manovella. Quindi è che facendo il raggio del rocchetto assai piccolo rispetto a quello della manovella, si può con una forza mediocre inalzare un peso molto considerevole.

Qualche volta per sollevare un peso più grande colla stessa forza applicata alla manovella, si adoprano nel martinetto più rocchetti. Allora l'effetto del martinetto è lo stesso di quello delle ruote dentate, di cui andiamo a parlare.

Le *ruote dentate* sono cilindri mobili intorno al loro asse, e muniti di denti alla loro superficie, i quali o sono nel piano stesso della ruota o perpendicolari a questo piano o inclinati secondo l'oggetto che viene proposto. Esse servono a molti usi. Talora si adoprano per moltiplicare la forza, talora per moltiplicare la velocità, o per regolare dei movimenti, come negli orologi.

Più ruote dentate V, X, Y, comunichino le une colle altre per mezzo dei rocchetti u, x, y (*Tav.* II, *Fig.* 42), ed alla prima ruota sia applicata la potenza P, ed all'ultimo rocchetto sia attaccato il peso: si tratta di trovare il rapporto della potenza al peso, o allo sforzo che l'ultimo rocchetto può sostenere. Sieno R, R' R'' i raggi di queste ruote ed r, r' r'' quelli dei loro rocchetti. Si considererà lo sforzo che la scannellatura di un rocchetto fa contro il dente della ruota vicina, come una potenza applicata a questa ruota. Allora chiamando S, S' questi sforzi, per ciò che si è detto trattando del tornio, si avranno le seguenti proporzioni:

$$P : S :: r : R,$$
$$S : S' :: r' : R'$$
$$S' : Q :: r'' : R''$$

dalle quali si deduce che

$$P : Q :: r \times r' \times r'' : R \times R' \times R''$$

cioè a dire la *potenza sta al peso, come il prodotto dei raggi di tutti i rocchetti sta al prodotto dei raggi di tutte le ruote.* Così, per esempio, se il raggio di ciascun rocchetto è $\frac{1}{10}$ del raggio della ruota, una potenza di una libbra sosterrà uno sforzo di mille libbre.

Del rimanente quanto si guadagna in forza coll'adoprare le ruote dentate si perde in velocità. Infatti quando la ruota V ha fatto un giro, il rocchetto u ha fatto parimente un giro, ma esso ha fatto passare solo tanti denti della ruota X quante sono le sue scannellature; per modo che se la ruota X ha, per esempio, 48 denti ed il rocchetto ha sei scannellature, la ruota X avrà fatto soltanto $\frac{1}{8}$ di giro, mentre la ruota V ne ha fatto un intiero. Per la stessa ragione si scorge che la ruota Y va più lentamente di X, e così di seguito. *In generale si trova il numero dei giri che fa la prima ruota dentata mentre l'ultima fa un giro, dividendo il prodotto del numero dei denti di tutte le ruote per quello del numero delle scannellature di tutti i rocchetti.*

I denti nelle ruote dentate, alle volte non sono posti sulla fronte della periferia, ma vengono invece collocati parallelamente all'asse, come nella figura a suo luogo. In tal caso diconsi *ruote a corona.* Se una ruota a corona *EF* (*Tav.* II, *Fig.* 43) ingrana con un rocchetto $m\ n$, il quale in luogo di scannellature porta tante piccole verghettine equidistanti p, q, il rocchetto prende il nome di *lanterna.*

Vediamo ora come si possa per mezzo delle ruote dentate accrescere la velocità. Sia una ruota dentata V (*Tav.* II, *Fig.* 44) che ingrani in un rocchetto u. Egli è manifesto che in un giro della ruota V, il rocchetto u farà un numero di giri espresso da $\frac{N}{n}$ indicando con N ed n i numeri di denti della ruota e del rocchetto. Parimente se il fusto del rocchetto u porti una ruota X, che ingrani essa pure in un rocchetto x, in un giro

della ruota X o del rocchetto u, il rocchetto x farà un numero di giri espresso da $\frac{N'}{n'}$, denotando con N' ed n' i numeri di denti della ruota X e del rocchetto x. Perciò mentre la ruota V farà un giro, la ruota y farà un numero di giri espresso da $\frac{NN'}{nn'}$. Dunque *il numero dei giri che fa l'ultima ruota, mentre la prima fa un giro, si ha dividendo il prodotto dei denti delle ruote, pel prodotto dei denti de' rocchetti.*

Del piano inclinato. Chiamasi in generale piano inclinato, qualunque piano che fa coll'orizzonte un angolo non retto. Un corpo che tocca un piano MN (*Tav.* II, *Fig.* 45), in un punto qualunque A, ed è sollecitato da una sola forza Q rimarrà in equilibrio, se la direzione QA della forza sarà perpendicolare al piano MN, e se questa direzione passerà pel punto A, dove il corpo tocca il piano. Infatti, 1.° essendo la direzione QA perpendicolare al piano, non v'è ragione per cui il corpo debba muoversi piuttosto da una parte che da un'altra qualunque; 2.° se la direzione QA, benchè perpendicolare al piano non passasse pel punto di contatto A, la resistenza del piano che si fa normalmente al punto A, non sarebbe direttamente opposta alla forza QA, e quindi non potrebbe distruggerla, benchè le fosse eguale. In secondo luogo, se il corpo tocca il piano in più punti, dovrà la forza QA essere perpendicolare al piano, ed inoltre farà d'uopo ch'essa possa risolversi in tante forze normali al piano, quanti sono i punti O, K ec. del corpo che si appoggiano sul piano. Se il corpo che si appoggia sul piano inclinato sarà sollecitato da varie forze, farà d'uopo per l'equilibrio, che la loro resultante passi pel punto d'appoggio e sia perpendicolare al piano.

Il piano inclinato serve nella meccanica a sostenere una parte della gravità dei corpi. Egli è per questa ragione che noi non possiamo trattenerci a parlare delle condizioni d'equilibrio dei corpi sul piano inclinato, senza aver prima trattato della gravità; quindi verremo a parlarne quando tratteremo di questa forza.

Della vite. La vite è un cilindro retto, avviluppato da un filo uniforme ed in rilievo, che gli è aderente e che fa lo

stesso angolo con tutte le rette condotte sopra la superficie del cilindro parallelamente al suo asse. La curva segnata dal filo sopra la superficie del cilindro dicesi *elica*, ed il filo che lo avvolge dicesi *pane*. Il cilindro stesso poi riceve il nome di *mastio*. La *madrevite* è un solido scavato cilindricamente e solcato internamente nello stesso modo che il cilindro della vite è rilevato esternamente. Queste solcature sono destinate a ricevere i rilievi della vite. L'intervallo uniforme che conserva il pane nell'avvolgersi attorno al cilindro, chiamasi *passo della vite*. La vite può usarsi in tre modi differenti: 1.° Tenendo fissa la madrevite, e facendo girare il mastio con una potenza applicata ad una manovella piantata nel mastio stesso (*Tav.* II, *Fig.* 46); 2.° tenendo fisso il mastio e facendo girare la madrevite *DC*; 3.° tenendo fisso il mastio, in modo però che possa girare intorno al suo asse e fare scorrere così la madrevite con un moto parallelo al suo piano.

La vite è una macchina nella quale le condizioni di equilibrio dipendono dai principj del piano inclinato, poichè di fatto le spire che ne costituiscono l'elica sono altrettanti piani inclinati. Perciò determineremo queste condizioni d'equilibrio dopo aver determinato quelle dei corpi sul piano inclinato.

Del Cuneo. Il Cuneo è un prisma triangolare *ABCDEF* (*Tav.* II, *Fig.* 47), che s'introduce in una fessitura per distaccare o separare le due parti di un corpo. Talvolta si fa uso del cuneo per sollevare dei pesi o per comprimere dei corpi. Chiamasi *testa* del cuneo la faccia *ABCD*, che riceve il colpo o l'impressione della forza motrice. La retta *EF*, che unisce i vertici dei due triangoli *ADE*, *BCF* chiamasi *taglio* o *filo* del cuneo, e le facce parallelogrammiche *ABFE*, *DCFE*, colle quali preme i corpi contigui ne sono i *lati*.

Rappresenteremo il cuneo col suo profilo *DAE*, la sua testa colla retta *DA*, ed i lati colle rette *DE*, *AE*; e se il profilo *DAE* sarà isoscele, il cuneo si dirà pure *isoscele*. Nel cuneo la percossa che si esercita sopra la sua testa ne costituisce la potenza, e la forza che essa deve superare non è altro che la resistenza che le parti del corpo oppon-

gono alla loro separazione. Ma siccome questa resistenza non è mai ben conosciuta, così noi ci restringeremo a determinare gli sforzi che esercita la potenza contro i due lati del cuneo in direzione perpendicolare a questi lati. Supporremo la potenza perpendicolare alla testa del cuneo, perciocchè se fosse obliqua, si risolverebbe in due forze, l'una parellela alla testa del cuneo, e che non avrebbe alcun effetto per affondare il cuneo; l'altra perpendicolare, e la sola da doversi considerare. Sia DE (*Tav.* II, *Fig.* 48) la direzione della potenza perpendicolare alla testa del cuneo, e per questa direzione conducasi al suo taglio un piano perpendicolare, che lo sarà altresì ai suoi lati. Sia il triangolo ABC la sezione fatta dal piano nel prisma triangolare che forma il cuneo; dal punto E, dove la direzione della potenza incontra la testa del cuneo si abbassino due perpendicolari EF ed EG sui lati AC e BC, e risolvasi la potenza in due forze dirette secondo EF ed EG: queste due componenti rappresenteranno gli sforzi che la potenza esercita contro i lati del cuneo, e de'quali trattasi di ritrovare le relazioni che essi hanno colla potenza medesima. Sia pertanto P la data potenza, e chiamiamo X ed Y le sue componenti secondo EF ed EG; prolunghiamo la direzione DE della forza P, d'una quantità arbitraria Ee, e dal punto e conduciamo le rette ef ed eg parallele ad EG ed EF. Ciò posto, la potenza P, e le componenti X ed Y staranno tra loro come la diagonale Ee, e i due lati Ef ed Eg del parallelogrammo $Ef\ e\ g$; cioè avremo

$$P : X : Y :: Ee : Ef : Eg$$

ma siccome $Eg = fe$, si avrà

$$P : X : Y :: Ee : Ef : fe,$$

e quindi per la similitudine dei due triangoli Efe, BAC

$$Ee : Ef : fe :: AB : AC : BC;$$

quindi

$$P : X : Y :: AB : AC : BC$$

cioè a dire *le tre forze* P, X, Y stanno fra loro come i tre lati del triangolo ABC. Le rette AB, AC, BC, stanno fra loro come le facce del cuneo costituite dalla sua testa e dai suoi lati; perciocchè queste facce sono parallelogrammi della stessa base, che hanno per altezza AB, AC, BC. Dunque la

potenza P e le sue componenti stanno fra loro, come la testa e i due lati del cuneo, cosicchè rappresentando la potenza colla testa del cuneo, gli sforzi che essa esercita contro i suoi lati saranno rappresentati da questi lati medesimi. Dalla serie dei rapporti

$$P : X : Y :: AB : AC : BC$$

si deduce

$$P : X + Y :: AB : AC + BC$$

cioè a dire che la *potenza sta alla somma degli sforzi che essa esercita sui lati, come la testa del cuneo sta alla somma dei suoi lati.*

Quando il cuneo è isoscele, essendo $AC = BC$ e $X = Y$ si ha

$$P : X + Y :: AB : 2AC$$

ovvero

$$P : X + Y :: \frac{AB}{2} : AC$$

vale à dire che la *potenza sta alla somma degli sforzi che esercita sui lati, come la metà della testa del cuneo sta ad uno dei lati.*

Di qui si deduce che quanto più saranno lunghi i lati del cuneo, rispetto alla sua testa, tanto maggiore sarà lo sforzo che si eserciterà con una forza costante. Quindi è che adoperando dei cunei molto acuti si possono esercitare degli sforzi notabili, anche col percuotere la testa del cuneo con un colpo mediocre. I coltelli, i puntaruoli, gli spilli, le asce, le spade, i chiodi ec. ec. sono cunei tanto più facili a penetrare nei corpi di cui si vogliono separare le parti, quanto più sono acuti.

Considerazioni sopra le macchine in generale. — In tutte le macchine vi è un punto o un asse fisso intorno al quale succede il moto, allorchè si rompe l'equilibrio. Ora se suppongasi che questo movimento si faccia in un istante brevissimo, i punti d'applicazione della potenza e della resistenza, nel girare intorno al detto punto o asse, descriveranno in quello istante degli archi piccolissimi di cerchio. Ora questi archi, essendo proporzionali ai loro raggi, esprimeranno le velocità dei due punti predetti, che chiamansi velo-

cità virtuali, e conseguentemente si potrà concludere che in una macchina v'è equilibrio, quando la potenza moltiplicata per la velocità che può prendere in un istante piccolissimo, è eguale alla resistenza moltiplicata per la velocità che prenderebbe, se l'equilibrio fosse rotto, in quell' istante medesimo. Laonde chiamando P la potenza, R la resistenza, e V, V' le velocità che esse possono prendere nell'indicato istante, si avrà per l'equilibrio $PV = RV$. Ora si potrà ottenere questa equazione in due modi diversi. Se la forza P, che è a nostra disposizione, sarà limitata ed insufficiente, converrà darle una maggiore velocità, cioè a dire trasportarla ad una distanza maggiore dall'asse, finchè si verifichi l'equazione dell'equilibrio. Al contrario se la velocità V sarà troppo piccola e non possa bastare, si otterrà l'equilibrio coll'aumentare sufficientemente la potenza P. Quindi secondo le circostanze si sacrificherà o una parte della forza, o una parte del tempo, che sono le sole cose delle quali si può disporre. Così per es. allorchè un palo trova troppa resistenza ad entrare nel terreno, si può sforzarlo a penetrarvi maggiormente, o col sollevare più in alto la massa urtante, o coll'accrescere il peso di questa massa medesima. Parimente; se sia data la grandezza della potenza, come pure la sua velocità virtuale, cioè quella che può prendere nella unità di tempo, ovvero la sua distanza dall'asse, il prodotto PV sarà la misura di tutto l'effetto che si potrà ottenere. Ma la grandezza della resistenza e la velocità che essa può prendere, essendo ancora indeterminate, si potrà ad arbitrio far l'una delle due più grande, purchè si renda l'altra proporzionalmente più piccola, per modo che resultino sempre eguali i momenti tra la resistenza e la potenza. Laonde si potrà colla stessa forza inalzare nello stesso intervallo di tempo, o un peso di 100 libbre con una velocità di 10 piedi per secondo, o un peso di 1000 libbre colla velocità di un piede per secondo.

Si chiama *quantità di lavoro* di una macchina, il prodotto ottenuto, moltiplicando una forza, valutata in chilogrammi, pel cammino percorso dal suo punto di applicazione, valutato in metri. Si potrà dunque enunciare la proposizione di cui abbiamo trattato, nel modo seguente: allorquando una poten-

za ed una resistenza si fanno equilibrio in una macchina, la quantità di lavoro della potenza durante un dato tempo, è eguale alla quantità di lavoro della resistenza, nello stesso spazio di tempo.

Da quanto abbiamo esposto apparisce con evidenza, che non v'ha alcuna macchina, nè alcuna combinazione di macchine che possano rendere una data forza capace di comunicare una più grande velocità ad una eguale resistenza, o la stessa velocità ad una resistenza più grande. Se si pretendesse il contrario, sarebbe lo stesso che pretendere che una macchina avesse in sè stessa una forza occulta da aggiungere alla data potenza, il che è assurdo.

Le macchine adunque non creano nè forza nè movimento, sono agenti intermediarj fra il motore e la resistenza, e se si arriva col mezzo delle macchine a superare con una debol forza una potente resistenza, o a produrre una grande velocità con un piccol movimento, ciò dipende, nel primo caso dal maggiore impiego di tempo, e nel secondo, dal maggior dispendio di forza. In generale, *in tutte le macchine si perde in velocità di azione, ciò che si guadagna in intensità di azione; si perde in tempo ciò che si utilizza in forza.*

DEI GRANDI AGENTI DI NATURA

1.° Dell'attrazione.

Fra le grandi forze che animano i corpi in natura, ve ne sono alcune che agiscono continuamente su di essi e alle quali è impossibile sottrarli. Queste ultime sono due, cioè l'*attrazione* e *la forza elastica del calore.*

L'attrazione è la tendenza che ha la materia ad unirsi alla materia. Essa esercitasi in ogni circostanza, tanto che sembra questa forza una proprietà alla materia inerente.

Quando l'attrazione agisce a notevoli distanze fra i corpi costituisce ciò che più particolarmente si dice *gravitazione*, mentre quando esercitasi fra le più piccole particelle dei medesimi, e ad impercettibili distanze, dicesi *attrazione molecolare.* In questo ultimo caso essa manifestasi con leggi assai diverse che nel primo, e prende i caratteri di una forza affatto differente.

Della gravitazione o attrazione a distanza.

Prima che l'esperienza avesse dimostrato l'attrazione scambievole che esiste fra i corpi situati fra di loro a distanza, il genio di Newton l'avea preveduta. Ei la dedusse dalle leggi dei movimenti dei corpi celesti, determinate da Keplero, dimostrando col ragionamento che la forza che costringe i pia-

neti a mantenersi sull'orbita che descrivono intorno al sole, e che li fa continuamente deviare dal cammino rettilineo che seguirebbero in virtù dell'impulso primitivo, altro non è che l'attrazione scambievole che esiste fra essi e questo astro centrale; e che la medesima attrazione non solo si esercita fra i corpi celesti, ma anche fra i terrestri, come tra questi e la terra medesima, su cui son posti; talchè la causa che produce il movimento della terra intorno al sole, o della luna intorno alla terra, è quella stessa che produce la caduta di un sasso lanciato in aria.

Newton fece dipendere tutti questi resultati da un'unica legge, detta *dell'attrazione universale*, che fu da lui enunciata in questi termini: *tutte le parti della materia sparse nell'universo s'attirano reciprocamente in ragione diretta delle loro masse, e in ragione inversa dei quadrati delle distanze.*

Cavendisch volle coll'esperienza rendere evidente quest'attrazione dei corpi fra loro, che la potente logica di Newton avea rivelato; e a quest'uopo immaginò un ingegnoso apparecchio, fondato sul principio seguente.

Se si avesse una grande sfera metallica di 2 a 3 metri di raggio, è chiaro che essa non sarebbe capace di far risentire la sua forza di attrazione ad una piccola sfera sospesa ad un filo, ossia ad un filo a piombo, poichè la forza di attrazione della terra è infinitamente superiore a quella della grossa sfera metallica da noi immaginata. Ma se invece di un filo a piombo si presentasse alla sfera metallica, allo stesso livello del suo centro, un'asta orizzontale perfettamente mobile ed equilibrata, è chiaro che l'azione della gravità non impedirà a quest'asta di muoversi a diritta o a sinistra e di oscillare intorno all'asse del filo; anzi non influirà minimamente su questi movimenti. Perciò la grossa sfera metallica spiegherà la sua azione attrattiva sopra una delle sue estremità, l'asta si spingerà con questa estremità verso di essa, ed oscillerà più o meno lungamente a diritta e a sinistra della medesima. Se invece di un sol globo metallico se ne mettessero due, che agissero ciascuno sopra una delle estremità della leva, si vede che l'effetto sarebbe raddoppiato; così con questo mezzo, prendendo dei globi abbastanza grandi e delle aste sufficiente-

mente mobili, si potrà indubitatamente render sensibile l'azione della materia sulla materia, se questa realmente esiste.

L'apparecchio di Cavendish è rappresentato dalla *Figura* 49 *Tav.* II. *U* e *V* sono le due sfere metalliche; esse erano di piombo, e pesavano ciascuna 158 chilogrammi. *ABCD* rappresenta la sezione di una cassa nella quale stava rinchiusa l'asta mobile per garantirla da tutte le agitazioni dell'aria; *s* ed *s'* sono due piccole palle di rame sospese alle due estremità dell'asta mobile, e perfettamente in equilibrio. Queste palle stanno sospese per mezzo di un filo d'argento che traversa le estremità dell'asta; questo filo viene ad attaccarsi in *n* al filo verticale *f f'*, la tenacità del quale è abbastanza grande per sopportare l'asta e le palle *s* e *s'*, e di cui la torsione è la sola forza che si oppone alle oscillazioni: le due masse *U V* stanno sospese in fondo a delle aste di ferro, e possono girare intorno alla cassa per mezzo di una manovra che si eseguisce al di fuori: infine tutto l'apparecchio è chiuso in una stanza senza finestre e senza porte, e non è rischiarato che da una piccola apertura, per mezzo di una lampada *g* situata fuori dei muri onde non riscaldare l'aria interna, ed è con un canocchiale *L L'* che si osservano i movimenti che si producono.

Tutto il sistema essendo in riposo, e le masse *U* e *V* essendo nella situazione in cui non agiscono, cioè a dire nella situazione perpendicolare all'asta mobile, si fanno girare per situarle in una posizione obliqua all' asta; allora questa si mette a girare; le piccole palle *s* ed *s'* sono attratte ciascuna verso la palla corrispondente, e le oscillazioni cominciano. Questa è una prova evidentissima che la materia attrae la materia. Noi vediamo soltanto l'effetto dell'attrazione delle grandi masse sulle piccole, a motivo del movimento che queste prendono verso le prime, ma non possiamo vedere quello dell'attrazione delle piccole masse per le grandi, perchè in questo caso la forza che si spiega non è capace di produrre alcun movimento.

Reso così manifesto il fatto dell'attrazione universale, Cavendisch applicò il suo ingegnoso apparecchio anche a determinarne le leggi. Fece variare le dimensioni e le masse delle

sfere, le distanze fra le palle e le sfere, impiegò sfere e palle di diversa natura, e concluse da una lunga serie di esperienze *che l'attrazione fra la materia delle palle e quella delle sfere variava in ragion diretta delle masse e in ragione inversa dei quadrati delle distanze.* Questa legge significa: 1.° che la forza totale con cui un corpo agisce sopra una molecola di un altro per attrarla è la somma delle attrazioni di ognuna delle sue molecole, per cui quanto più grande è il numero delle medesime, tanto più grande è la intensità della forza; 2.° che se pongonsi due corpi alle distanze espresse coi numeri 1, 2, 3 ec. le intensità della forza di attrazione diminuiranno con queste distanze, e saranno espresse coi numeri 1, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{9}$ ec. Per le distanze fra i corpi sferici si prendono quelle fra i loro centri, giacchè in meccanica si dimostra che le molecole materiali, uniformemente distribuite nel volume di una sfera agiscono nella loro totalità sopra un punto esterno, come se tutte fossero riunite al suo centro.

Della gravità. Ci sarà ora facile concepire che in virtù dell'attrazione universale, dovrà esistere una reciproca attrazione fra la terra e i corpi situati alla sua superficie, ma che in conseguenza della grandezza della massa terrestre, incalcolabilmente maggiore di quella dei corpi situati su di essa, non ci sarà possibile scorgere se non che l'effetto dell'attrazione della terra per essi. Allorquando abbandoniamo a sè stesso un corpo, esso cade fintantochè non tocca la terra o alcun altro corpo che lo sostenga: adunque si avvicina alla terra, non già la terra ad esso.

La forza che produce la caduta dei corpi verso la terra è stata distinta col nome particolare di *gravità*, quantunque sia manifesto per ciò che abbiamo detto che altro non è se non un caso particolare della gravitazione o attrazione universale.

Poichè l'azione di questa forza varia in ragione inversa del quadrato delle distanze, potrebbe credersi che l'azione della gravità sopra un corpo variasse al variare delle altezze da cui cadesse; ma avendo riguardo alle piccole altezze da cui noi consideriamo caduti i corpi sulla superficie della terra, specialmente rapporto alla grandezza infinitamente maggiore

del raggio terrestre, può la gravità considerarsi come una forza d'intensità costante per le diverse altezze. Potrebbe anche supporsi che per la reciproca attrazione dei corpi situati alla superficie della terra si manifestassero dei movimenti degli uni verso gli altri; p. es. quando si lasciasse cadere una pietra da una grande altezza, in vicinanza di una montagna, essa si dovesse dirigere verso il centro prossimo di quella, piuttosto che verso quello della terra che è lontanissimo. Se però si riflette che la più grande montagna, non è che un grano di sabbia quando si paragona alla terra, non ci farà più maraviglia che le montagne non possano attirare i corpi che sono attirati dalla terra. L'effetto che esse potranno produrre sarà tutto al più di deviarli un poco dalla direzione della loro caduta, che è la verticale. Difatti ciò accade presso le montagne le più considerevoli del globo. Bouguer fu il primo che osservò la deviazione del filo a piombo presso il Chimborazo; e Maskeline e Carlini confermarono in seguito questo fatto, il primo esperimentando al piede di alcune montagne della Scozia, il secondo sul monte Cenisio.

Vi sono dei corpi che sembrano sottrarsi all'effetto di questa forza. Tali sono p. es. la fiamma, il fumo, la nebbia, le piume, i globi areostatici che noi vediamo sollevarsi nell'aria invece di cadere alla superficie della terra. Questi corpi nondimeno obbediscono anch'essi alla legge di gravità, e se ai nostri occhi apparisce che vi si sottraggano, ciò dipende perchè l'aria in mezzo alla quale si muovono è di essi più pesante, e li spinge in alto, precisamente come accade ad un sughero nell'acqua. Situati in spazj vuoti, cadrebbero anche essi verso la superficie della terra.

Oltremodo ristretta sarebbe l'idea che ci faremmo della gravità se tenendoci strettamente alla definizione che ne abbiamo data, non le supponessimo altro effetto che quello della caduta dei corpi. Essa ne produce ancora molti altri che sono di quello la necessaria conseguenza; tali sono p. es. il distendersi dei mari in superficie piana, il movimento dei liquidi che scolano dai recipienti, lo scorrere dei fiumi verso il mare, il sollevarsi dei corpi leggeri verso la superficie dell'acqua, e quelli stessi movimenti ascensionali in mezzo all'aria, che

abbiamo detto sembrare in contradizione colla forza che li produce.

Direzione della gravità. Per determinare la linea lungo la quale cadono i corpi, basta seguirne la traccia nella loro caduta. Questa traccia vien segnata da un filo legato ad un'estremità ad un corpo pesante, e sospeso per l'altra estremità ad un punto fisso. La direzione del filo quando sarà teso ed in riposo, sarà la direzione della gravità, poichè se questa forza agisse secondo un'altra linea essa tirerebbe il filo e lo trascinerebbe secondo quest'altra linea. Questo piccolo istrumento chiamasi *filo a piombo,* e la sua linea di riposo chiamasi la *verticale.*

È però necessario un piano fisso a cui riferire questa verticale onde esser certi della invariabilità di questa linea del filo a piombo, senza di che niente ci assicurerebbe che questa linea non avesse da un momento all'altro cambiato. Noi potremmo riferire questa verticale alle linee di qualche edifizio, di qualche montagna ec. ec., ma chi ci assicurerebbe della loro stabilità mentre tutto è così instabile intorno di noi? Dunque noi non abbiamo un punto fisso nè sulla terra ferma, nè sulle montagne per giudicare se la direzione della gravità è costante, o se varia collo scorrere dei secoli. Fortunatamente la superficie del mare, benchè continuamente agitata, ci presenta nella sua direzione generale il piano invariabile che ricerchiamo. Di fatto anche il più piccolo cambiamento di livello nel mare cagionerebbe delle immense inondazioni, e forse anche una generale sommersione. Ora accade, per una ragione che esamineremo nella idrostatica, che la superficie delle acque tranquille è perpendicolare alla direzione della gravità. Se adunque la direzione della gravità cangiasse, cangerebbe anche il livello del mare. Da ciò si può giudicare la costanza della sua direzione.

Invece di dire che la gravità è perpendicolare alla superficie del mare, si dice talora che è perpendicolare alla superficie della terra. Allora s'intende una superficie ideale fatta col prolungamento di quella del mare.

Le superfici delle acque di un lago, di un pozzo, e di qualunque vaso di grandi dimensioni, sono pure tanti piani

perpendicolari al filo a piombo. Resulta da queste verità fondamentali che tutte le direzioni della gravità concorrono verso il centro della terra, giacchè tutte le perpendicolari ad una superficie sferica concorrono al suo centro. Egli è dunque inesatto il dire che queste direzioni sono parallele; ma avuto riguardo alla grande lunghezza del raggio terrestre, rispetto alle distanze che noi consideriamo, possono senza errore riguardarsi tali. A cento tese di distanza due fili a piombo farebbero fra loro un angolo di poco più di sei secondi. Per uno stesso corpo adunque, per quanto sia esteso, le direzioni della gravità, che opera sui varj suoi punti, possono considerarsi come parallele.

Noi abbiamo detto che la verticale rappresentava la direzione della caduta dei corpi; ciò sarebbe rigorosamente vero se la terra fosse in riposo, ma essa è in moto intorno al suo asse, e resulta da questo movimento che se un corpo cadesse da una grande altezza, esso non seguirebbe esattamente la verticale dal suo punto di partenza, perchè il corpo, avendo all'istante della partenza una maggiore velocità di rotazione che il punto della terra dal quale passa la sua verticale, dovrà cadere in un punto più avanzato verso l'oriente, di una quantità eguale alla differenza degli spazj percorsi, durante la sua caduta, dal punto di partenza e dal piede della verticale di questo in virtù della rotazione; ma onde questa distanza fosse sensibile converrebbe che il corpo cadesse da una grande altezza.

Centro di gravità. Il punto di applicazione della resultante di tutte le forze che attirano i punti di un corpo verso il centro della terra, porta il nome di *centro di gravità.* Dal medesimo passa costantemente l'indicata resultante, qualunque sia la posizione del corpo. Tutte le parziali forze di gravità che agiscono sui varj punti del corpo, supposto questo abbastanza piccolo o assai lontano dal centro della terra per poter trascurare le differenze delle distanze delle sue molecole, debbono considerarsi come eguali e parallele. Ora noi sappiamo che un sistema di forze parallele è rappresentato da una resultante, e il punto in cui si suppone applicata questa resultante è stato da noi chiamato *centro delle forze*

parallele. Adunque il centro di gravità dei corpi è il centro delle forze parallele di gravità che agiscono sui varj punti del corpo medesimo. Da ciò resulta una proprietà caratteristica del centro di gravità, cioè a dire l'invariabilità della sua posizione nell'interno dei corpi solidi, qualunque sia la posizione che si dà loro. Per esempio, il punto *g* (*Tav.* II, *Fig.* 50) essendo il centro di gravità del triangolo *a b c* quando il punto *c* è in alto, sarà sempre il luogo del centro di gravità quando il punto *c* sarà in basso o in qualunque altra posizione, giacchè al variare della posizione del corpo, non si alterano le forze della gravità che operano sulle sue molecole, laonde le medesime non cessano di essere tra loro parallele e verticali.

Peso. Abbiamo detto che l'azione della gravità su di un corpo può rappresentarsi per un sistema di forze parallele e tutte eguali d'intensità, e che il punto d'applicazione della loro resultante è il centro di gravità. Ora quale sarà questa resultante? È evidente che essa dovrà essere eguale alla somma di tutte queste forze. Se noi chiamiamo F questa forza resultante, è chiaro che detta g la forza della gravità sopra l'unità di massa, ed M la massa totale del corpo, la resultante o forza motrice sarà espressa dal prodotto gM. Adunque *la resultante della gravità è proporzionale alla massa.* Questa resultante, che siamo costretti a distruggere per impedirne l'effetto, e che ci rappresenta la pressione dei corpi gravi contro gli appoggi, lo sforzo contro gli ostacoli che ne impediscono la caduta, chiamasi comunemente *peso.* Il peso è adunque la misura della quantità relativa di materia, di cui si compongono i corpi.

Determinazione del centro di gravità. La determinazione del centro di gravità, semplicizza assai lo studio dell'equilibrio dei corpi gravi. Difatti per distruggere l'effetto del peso di un corpo, basterà applicare al suo centro di gravità una forza eguale e contraria, e nella direzione della gravità.

Nei corpi omogenei e di forma regolare il centro di gravità è situato al centro di figura. Così è evidente che nella linea retta pesante, rappresentata da un filo metallico omogeneo e di egual grossezza in tutta la sua estensione, il cen-

tro di gravità è nel suo mezzo. Vi sono certe figure le quali possono esser divise da una retta in due parti esattamente eguali, tanto per riguardo alla loro area che al loro perimetro. Queste figure diconsi *euritmetiche* rapporto a quella retta, la quale dicesi appunto *asse di euritmia* della figura. Se queste figure sono formate di materia pesante, omogenea e di egual grossezza in tutte le parti, è chiaro che avranno il loro centro di gravità sull'asse di euritmia. Questo principio serve a stabilire il centro di gravità di alcune figure e di alcuni solidi della geometria.

Il *triangolo equilatero*, il *rettangolo*, il *poligono regolare* hanno ciascuno un asse di euritmia, il quale nel triangolo equilatero è la linea condotta da un angolo alla metà del lato opposto, nel rettangolo, è la retta che unisce i punti di mezzo di due lati opposti, e finalmente nel poligono regolare d'un numero pari di lati, è una delle diagonali, o la linea guidata pel vertice di due angoli opposti; e in quello di un numero dispari di lati, l'asse di euritmia coincide colla linea tirata dal vertice di un angolo alla metà del lato opposto. Il centro di gravità di queste figure si trova dunque sulle rette indicate. Siccome poi in ciascuna figura si possono condurre almeno due assi di euritmia, così il loro centro di gravità viene ad essere nel punto d'intersezione dei due assi, il qual punto è anche il centro di figura. Per tal modo *il centro di gravità del triangolo equilatero è nel punto d'intersezione delle due rette condotte dai vertici di due angoli alla metà di ciascuno dei lati opposti*. Il *centro di gravità del rettangolo si trova nel punto dove s'intersecano le due rette congiungenti rispettivamente le metà dei lati opposti*, il qual punto coincide coll'intersezione delle due diagonali dello stesso rettangolo. Finalmente *il centro di gravità del poligono regolare è situato nel punto, dove vengono a intersecarsi due diagonali, condotte rispettivamente dai vertici di due angoli ai vertici degli angoli opposti, se il poligono ha un numero pari di lati, o alla metà di ciascuno dei due lati opposti se il poligono è formato da un numero dispari di lati.*

Il *cerchio* è una figura euritmetica, e qualunque suo diametro è il suo asse di euritmia; per conseguenza il *centro di*

gravità del cerchio risiede nel suo centro di figura, che è il punto in cui s'incontrano i diametri.

Si trova il centro di gravità delle figure che non hanno un asse di euritmia, immaginandole divise nei loro elementi o in tante sottili strisce, o rette pesanti, il cui centro di gravità risiede nel loro punto di mezzo. Un triangolo qualunque *ABC*, si compone di tante rette pesanti parallele al lato *AB* (*Tav.* III, *Fig.* 55), le quali avranno tutte il loro centro di gravità sulla linea *CE*, condotta dal vertice *C* alla metà *E* del lato opposto *AB*, la quale linea si sa per la geometria che divide per metà tutte le parallele ad *AB*. Congiunto il vertice dell'altro angolo *B* col punto di mezzo *D* del lato opposto *AC*, dovrà essere, per la stessa ragione, il centro di gravità degli elementi del triangolo paralleli ad *AC*, sulla linea *BD*. Il centro di gravità di tutto il triangolo si trova dunque contemporaneamente sulle linee *CE*, *BD*, e quindi nel punto d'intersezione *G*.

Volendo determinare la posizione di questo centro *G*, si tiri la retta *ED*, parallela a *BC*. Dalla similitudine dei triangoli *BAC*, *EAD* e degli altri *BCG*, *DEG*, si ha

$$2 : 1 = BA : EA = BC : ED = CG : GE.$$

Dunque *CG* è doppio di *GE*; dunque *CG* è $\frac{2}{3}$ di *CG*. Da ciò si deduce, che il *centro di gravità del triangolo risiede sulla linea che congiunge il vertice di un angolo colla metà del lato opposto, a due terzi del vertice.*

Il parallelogrammo *ACBH* (*Tav.* III, *Fig.* 55) è formato di triangoli perfettamente eguali *ABC*, *ABH*, ciascuno dei quali ha il centro di gravità sulla diagonale *CH* e ad eguale distanza dal punto *E*, che è il punto d'intersezione coll'altra diagonale. Dunque *il centro di gravità del parallelogrammo è situato nel punto d'intersezione delle sue due diagonali.*

Un solido è euritmetico per rapporto ad un asse, quando ogni sezione fatta perpendicolarmente all'asse, ha il suo centro di euritmia sull'asse medesimo. Se quindi immaginiamo il solido diviso in un gran numero di sezioni normali all'asse e fra loro molto vicine, si possono queste ritenere come semplici superfici pesanti, aventi ciascuna il centro di gravità su quest'asse. Da ciò si deduce in generale che *i corpi solidi euritmetici, per rapporto ad un asse, hanno il loro centro di gra-*

vità sull'asse medesimo, e quando abbiano due assi di euritmia, il centro di gravità cade nell'intersezione degli assi stessi.

Il poliedro regolare ha tanti assi di euritmia quanti sono i suoi diametri; quindi il centro di gravità del poliedro regolare è nel punto dove s'intersecano due dei suoi diametri.

Il prisma retto, che ha per base un poligono regolare, ha due assi di euritmia; uno dei quali è la retta che unisce i centri delle due basi, e l'altro il diametro del poligono resultante dal dividere nel mezzo il solido con un piano perpendicolare all'asse. Nel punto d'intersezione di queste due rette risiede il centro di gravità del prisma, il qual centro è anche quello della sezione di mezzo. Dunque *il centro di gravità del prisma, avente per base un poligono regolare, risiede nel centro di figura della sua sezione di mezzo, ossia nel mezzo della linea che congiunge i centri di gravità delle due basi.*

Il cilindro retto ha due assi d'euritmia principali: l'uno è la retta che unisce i centri dei cerchi delle due basi, l'altro è il diametro della sezione circolare che divide in due parti eguali il cilindro. Dunque *il centro di gravità del cilindro retto è pure nel mezzo della linea che unisce i centri di gravità delle due basi.* La *sfera* ha tanti assi di euritmia quanti sono i suoi diametri, talchè *il centro di gravità della sfera coincide col suo centro.*

La piramide triangolare si può immaginare divisa in tante superfici triangolari parallele alla base e sovrapposte le une alle altre che vanno sempre diminuendo in grandezza a misura che si accostano al vertice, e tutte fra loro simili. Se quindi dal vertice della piramide si conduce una retta al centro di gravità della base, sulla medesima si troverà il centro di gravità del solido. Prendendo per vertice un altro angolo della piramide, e condotta sulla base opposta una retta consimile, il centro di gravità dovrà trovarsi sul punto d'intersezione delle due rette. Sarebbe facile dimostrare che *questo punto è situato ad un quarto, contando dalla base, della retta che congiunge il vertice col centro di gravità della base medesima.*

Lo stesso vale anche per qualunque piramide, che abbia per base un poligono di un maggior numero di lati del triangolo. Il *cono* si può considerare come una piramide a base

circolare, e quindi anche *il centro di gravità del cono è posto sulla retta che unisce il vertice al centro di gravità della base, ad un quarto partendo dalla base.*

Determinazione del centro di gravità di un corpo eterogeneo. Se il corpo non è omogeneo, il centro di gravità non coincide più col centro della figura. In questo caso si può giungere a determinarlo col seguente processo, che è pure applicabile al caso in cui il corpo è omogeneo.

Sia *MN* (*Tav.* II, *Fig.* 51) un corpo qualunque. Se si sospende per un filo *AB*, il corpo rimarrà in equilibrio quando la verticale del centro di gravità si troverà nella direzione del filo di sospensione, imperocchè la forza che è applicata al centro di gravità non può essere distrutta dalla resistenza del filo se non quando queste due forze agiscono secondo la stessa linea. Adunque il prolungamento della linea *AB*, deve passare pel centro di gravità. Ripetendo questa operazione sopra un altro punto *B'*, si avrà un'altra linea sulla quale dovrà trovarsi il centro di gravità: dunque, se si sarà tracciata nel corpo la direzione del filo di sospensione in queste due posizioni di equilibrio, il centro di gravità, sarà determinato dalla intersezione di queste due linee.

Condizioni di equilibrio dei corpi gravi. — La principale condizione di equilibrio di un corpo grave si è, *che il suo centro di gravità sia sostenuto;* ma questa condizione si soddisfa in diverse maniere, secondo che il corpo è sospeso a dei punti fissi o posato su degli appoggi.

1.° Supponiamo per es. un disco omogeneo traversato da tre fori eguali *a*, *b*, *c* (*Tav.* II, *Fig.* 52) e il cui centro di gravità sia al centro della figura, questo disco sarà in equilibrio in tutte le posizioni intorno ad un asse che passa pel foro centrale *a*, e questo equilibrio si chiama *indifferente;* se l'asse passa pel foro superiore *b* l'equilibrio è *stabile*, perchè il corpo tende a ritornarvi quando se ne allontana; si vede infatti che facendo un poco girare il disco intorno a quest'asse, il centro di gravità si sposta a diritta o a sinistra sull'arco *mn*. Esso non è più sostenuto perchè non è più nel piano verticale dell'asse di sospensione, e discende per ritornare, dopo una serie di oscillazioni, a fer-

marsi in questo piano; se l'asse passa pel foro inferiore *c*, il disco può ancora essere matematicamente in equilibrio: ciò avrà luogo se il centro di gravità si trova nella verticale dell'asse; ma è in equilibrio instabile, perchè nel momento in cui il centro di gravità esce da questo piano, se ne allontana sempre più, e descrive una semicirconferenza per venire a fermarsi al di sotto dell'asse di sospensione. Generalizzando questi resultati si vede che un corpo qualunque sospeso per un asse può essere in equilibrio stabile, instabile o indifferente, secondo che il suo centro di gravità è al disotto dell'asse, al di sopra dell'asse o nell'asse stesso.

2.° Esaminiamo ciò che accade ad un disco semplicemente posato sopra un piano orizzontale, e supponiamo che questo disco, composto per es. di piombo e di legno, abbia il suo centro di gravità sulla circonferenza *a b d* (*Tav.* II, *Fig.* 53) a una distanza grande dal suo centro di figura. Resulta da ciò che precede che vi saranno solamente due posizioni di equilibrio, l'una stabile, quando il centro di gravità sarà in *a*, l'altra instabile, quando il centro di gravità sarà in *b*.

Questo fatto può anche provarsi per mezzo di una palla, di cui una metà sia fatta di legno dolce e l'altra metà di metallo o di legno più duro. Una sfera così costruita non ha il suo centro di gravità nel punto in cui l'avrebbe se fosse omogenea, cioè a dire nel suo centro. Si trova in questo caso portato dentro la metà formata dalla materia più densa, come se questa appartenesse ad una sfera assai più grande. L'equilibrio è instabile allorchè la palla tocca il piano coll'emisfero di legno dolce, ed è stabile nel caso contrario.

Da tutti questi fatti ne dedurremo *che per la stabilità dell'equilibrio di un corpo grave è necessario che il suo centro di gravità si trovi sempre nel punto più basso possibile.* È con questo principio fondamentale che si può spiegare il fenomeno conosciuto col nome di *paradosso meccanico*, il quale consiste nel movimento di ascensione che prende un doppio cono riunito per le due basi, il quale scorre sopra due aste di legno riunite ad angolo ed inclinate verso il suo vertice. Il doppio cono sembra effettivamente salire; ma se si osserva la posizione del suo centro di gravità, si vede che questo punto di-

scende costantemente. Un' infinità di giuocarelli da fanciulli sono fondati sullo stesso principio. Tali sono per es., il cavallo ad altalena, e certi fantocci a grosso ventre che oscillano lungo tempo dopo una debole spinta. Il movimento oscillatorio di questi trastulli dipende dalla caduta e successiva ascensione del centro di gravità, in virtù della velocità acquistata nella caduta.

Allorchè i corpi posano sul suolo con una base più o meno larga, è necessario per l'equilibrio, che la verticale del centro di gravità cada nel perimetro di questa base. Si vede da ciò che un cilindro obliquo sarà in equilibrio se non avrà che una lunghezza *a b*, e che cadrà, se gli si sovrapporrà un'altro cilindro che sposti il centro di gravità fino a portarlo al di fuori delle verticali del contorno della base (*Tav.* II, *Fig.* 54). Egli è per questa ragione che le torri inclinate si reggono, dando loro una base assai larga, e tenendo basso il loro centro di gravità con muri più grossi in basso. In questa guisa la verticale del centro di gravità cade dentro la base. Un carro, il cui carico sia molto alto e molto peso verso la sommità, rischia di rovesciare passando da uno dei lati inclinati di una strada. Infatti il suo centro di gravità essendo molto alto, non si trova più sostenuto quando il carro riceve una certa inclinazione, come è facile osservare abbassando una perpendicolare *C A* (*Tav.* III, *Fig.* 56) che passi pel centro di gravità *C* del carro. Se il carro fosse più basso, la verticale *C A* cadrebbe dentro la base, ed il medesimo non si rovescerebbe. In generale la stabilità di un corpo che posa sopra una base è tanto più grande quanto più la verticale del centro di gravità cade verso il mezzo di essa.

Un' altra condizione per l'equilibrio dei corpi gravi si è che l'ostacolo o punto d'appoggio, o meglio ancora la forza applicata in senso contrario alla resultante, dev' essere eguale in intensità alla medesima, e perciò eguale al peso del corpo cui fa equilibrio. Non basterà perciò per l'equilibrio di un corpo grave che l'ostacolo si trovi nella verticale del centro di gravità; bisognerà altresì che questo ostacolo rappresenti una forza eguale al suo peso. Infatti un filo sottile di seta fisso con una sua estremità non regge una grossa palla di piombo,

benchè il centro di gravità di questa sia nella verticale del punto fisso. Il peso della palla vince la resistenza del filo.

Le condizioni di equilibrio, quali sono state da noi date, non sono realmente sufficenti che nelle speculazioni teoriche, giacchè suppongono alla materia una proprietà di cui essa non gode; esse suppongono che tutti i corpi sieno perfettamente rigidi, cioè a dire che non sieno nè elastici, nè compressibili, e che le loro molecole sieno invariabilmente legate fra loro.

Difatti concepiamo un lungo tubo molto sottile, di vetro, che riposi pel suo mezzo sopra un appoggio qualunque; il suo centro di gravità sarà sostenuto, ma il tubo non rimarrà orizzontale come dovrebbe, giacchè esso si piegherà in virtù della sua elasticità, e tanto più quanta più massa avranno le sue estremità. Lo stesso deve dirsi di un albero, il quale non cade finchè la verticale del suo centro di gravità cade nel recinto compreso fra le sue radici, ma i rami si piegano, e talvolta lo stesso tronco si schianta, perchè l'azione della gravità non cessa di farsi sentire in tutte le sue parti; e per distruggerla in tutti i punti con una forza applicata al suo centro di gravità converrebbe che tutti questi punti fossero fra loro invariabilmente legati.

S'intende parimente con facilità che i cambiamenti di forma che resultano, sia dalla elasticità, sia dalla compressibilità dei corpi, sia, negli animali, dai movimenti volontarj che fanno cambiare di posizione le membra, sono altrettante cause che influiscono sul loro stato di equilibrio. Così un uomo che si pieghi colla vita, sia in avanti che indietro, che si abbassi per raccogliere un oggetto da terra, o che si ponga ritto sopra un sol piede, sposta sempre il suo centro di gravità variando in conseguenza le sue condizioni d'equilibrio. È per questo motivo che un uomo che porta un fardello sulle spalle si piega in avanti, mentre si piega all'indietro se lo porta tra le braccia. Egli fa ciò in ambo i casi affinchè la verticale del suo centro di gravità passi fra i suoi piedi, senza di che perderebbe l'equilibrio. I ballerini di corda acquistano, mediante una lunga abitudine, la facoltà di appoggiarsi sopra una base di sostegno estremamente ristretta, quale si è la corda. Sono as-

sai facilitati in questo esercizio munendosi d'una lunga pertica, chiamata bilanciere, fornita di un peso ad ogni sua estremità. Quando si accorgono di pendere a destra o a sinistra, inclinano il bilanciere dal lato opposto, in modo da ricondurre il centro di gravità nella sua posizione di equilibrio.

La gravità agisce egualmente su tutti i corpi. — Quando si fanno cadere dalla stessa altezza corpi di varia natura e dimensioni, si osserva che alcuni cadono più presto ed altri più tardi; così, per es., noi vediamo una palla di piombo cadere con molta maggior velocità di un pezzo di carta. Da questi fatti siamo ad un tratto indotti a concludere che la gravità agisca differentemente sui varj corpi, comunicando ad alcuni una maggiore velocità che ad altri. Prima di Galileo si riteneva che la velocità della caduta dei corpi fosse proporzionale alla loro massa. Questo grande filosofo provò il primo che tali differenze di velocità dipendevano dalla resistenza dell'aria; che tutti i corpi sono sollecitati dalla stessa forza di gravità, e che se non esistesse l'impedimento dell'aria tutti cadrebbero nel medesimo tempo.

Egli fece infatti cadere nello stesso istante dalla cima della torre della cattedrale di Pisa dei globi di egual volume di sostanze diverse, come oro, piombo, argento, porfido, cera, e vide che tutti cadevano presso a poco nello stesso tempo, e il solo globo di cera, era un poco in ritardo. La resistenza che incontravano nell'aria questi globi, era eguale per tutti, perchè essendo eguali ne spostavano la stessa quantità; quindi la gravità agiva egualmente su tutte quelle varie sostanze, comunicando loro la stessa velocità. La piccola differenza osservata nella velocità del globo più leggiero non poteva attribuirsi alla differenza di densità, che era considerevole, ma alla differente diminuzione di velocità per effetto della resistenza dell'aria.

Se la resistenza dell'aria è la cagione della differente velocità che prendono i corpi nella loro caduta, egli è chiaro che in un mezzo privo di aria dovranno tutti cadere colla stessa velocità, qualunque sieno le loro dimensioni e i loro pesi. Così accade realmente. Se in un tubo molto lungo di

cristallo sul fondo del quale sieno situati un pezzo di piombo ed uno di carta, si fa il vuoto, e quindi si capovolge tutto ad un tratto, il piombo e la carta cadranno contemporaneamente dall'alto e giungeranno ambedue nel medesimo tempo all'altra estremità del tubo.

Vi sono anche altri esperimenti comprovanti che è la resistenza dell'aria la cagione della diversa velocità che prendono i corpi nel cadere. Se si prendono due fogli di carta perfettamente eguali, e di uno se ne fa una palla, e si fa cadere insieme all'altro spiegato, il primo cade con celerità, mentre il secondo cade con molta lentezza. Un disco di carta sovrapposto a un disco di metallo cade colla stessa velocità di quest'ultimo, e non si distacca da lui perchè il disco metallico toglie la resistenza dell'aria a quello di carta.

Adunque quando la gravità agisce sola, quando non è combattuta da alcuna resistenza che noccia ai suoi effetti, essa sollecita tutti i corpi colla stessa energìa, ed imprime loro la stessa velocità qualunque sia il loro peso, qualunque sia la sostanza che li compone. Nel vuoto una montagna non cadrebbe più velocemente di una piuma.

I corpi di maggior massa, avendo la stessa velocità di quelli di minor massa, devono essere necessariamente sollecitati da una maggior forza. Perchè una massa doppia abbia la stessa velocità dell'unità di massa bisogna pure che la forza sia doppia. Un corpo che ha 100 volte più massa, sente cento volte più l'azione della gravità; ma la velocità non è cambiata, perchè anche la massa da mettersi in moto è divenuta più grande, e precisamente quanto la forza.

Vediamo adesso come avviene che i corpi meno pesanti sono più tardi nel cadere per la resistenza dell'aria.

Supponiamo di avere due corpi di egual volume, per esempio due sfere, una di piombo ed una di cera; ambedue cadendo dovranno sloggiare la stessa colonna d'aria ed imprimerle del moto, e perciò dovranno comunicare all'aria una medesima quantità di forza. Questa forza tolta alle particelle del piombo ed a quelle della cera, non produrrà nelle prime la stessa diminuzione di gravità che nelle seconde, perchè il piombo ha una massa molto maggiore, e dovrà repartire

quella forza o resistenza in un maggior numero di particelle. Quindi ciascuna particella del piombo perderà meno forza di ognuna di quelle della cera; e per questo dovrà la sfera di piombo, e in generale il corpo più pesante, cadere più presto della cera o del corpo più leggiero.

Determinazione del peso dei corpi. — I pesi sono forze che possono valutarsi in due modi diversi. Quando si considerano come forze motrici, abbiamo detto che si paragonano ad una forza che si prende per unità, ed è quella della gravità che agisce sopra l'unità di massa, per cui esprimendo con M la massa di un corpo, con g la gravità, l'espressione del peso di un corpo è gM. Si possono anche valutare i pesi paragonandoli a quello di un volume determinato di un certo corpo, il quale è adunque l'unità di peso. I numeri che così ottengonsi rappresentano i rapporti delle masse dei corpi, alla massa del corpo il cui peso è stato preso per unità, imperocchè si sia visto che le masse dei corpi sono proporzionali ai loro pesi. Determinare adunque il peso di un corpo equivale a trovare di quante unità di peso egli sia composto.

L'unità di peso più generalmente adottata è il *grammo*, perchè desunta dal sistema metrico, di cui abbiamo già indicato i pregi. Un grammo è il peso nel vuoto di un centimetro cubico di acqua distillata, alla temperatura di 4 gradi.

Si usano anche delle unità submultiple, chiamate *decigrammi*, *centigrammi*, *milligrammi*, costituite da $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$ e $\frac{1}{1000}$ di grammo; e delle unità multiple formate di 10, 100, e 1000 grammi, sotto i nomi di *decagrammi*, *ectagrammi* e *chilogrammi*.

Il *miriagrammo* o *rubbo* si compone di 10 chilogrammi, il *quintale* di 100 e la *tonnellata* di 1000.

In Toscana l'unità di peso è la libbra, la quale si divide in 12 once; l'oncia si divide in 8 dramme, la dramma in 3 denari e il denaro in 24 grani.

La libbra toscana è presso che $\frac{1}{3}$ del chilogrammo francese; difatti questo peso equivale a libbre toscane 2,945144, ossia libbre 2, once undici, denari 8 e grani 4. Un grammo francese equivale a 22 grani toscani, quindi è che un grano toscano è eguale a 50 milligrammi.

Gli apparecchi che servono a pesare diconsi *bilance*.

La bilancia ordinaria si compone di un'asta mobile *a b* (*Tav.* II, *Fig.* 55) sostenuta nel suo mezzo *m*; e i cui bracci *a m* e *b m* sono destinati a portare i bacini *c* e *d*, mobilissimi intorno ai loro punti di attacco. Dopo avere equilibrato questi bacini si pone in uno di essi il corpo che si vuol pesare e nell'altro dei pesi segnati finchè l'equilibrio non è stabilito, cioè a dire finchè l'asta non è perfettamente orizzontale. Allora se la bilancia è giusta, il peso del corpo è espresso dal numero dei grammi e frazioni di grammi che è bisognato mettere nell'altro bacino; ma se la bilancia non è giusta, se i suoi due bracci non sono matematicamente eguali, è evidente che il peso del corpo non è più rappresentato dai pesi che gli fanno equilibrio nell'altro bacino, giacchè essendo la bilancia una leva di primo genere, i pesi sono in ragione inversa della lunghezza dei bracci di leva, e non sono eguali se non quando i bracci sono eguali.

Siccome egli è presso che impossibile di fare una bilancia i cui bracci sieno perfettamente eguali, si sono immaginati diversi metodi per rimediare a questo inconveniente. Il più semplice è quello immaginato da Borda, detto della *doppia pesata*. Consiste nell'equilibrare il corpo con della munizione di piombo, della sabbia, o altri oggetti; poi nel ritirare il corpo quando lo equilibrio è stabilito, e sostituirvi i pesi che sono necessarj per ristabilire l'equilibrio. Questi pesi prendendo così il posto del corpo da pesare, l'ineguaglianza dei bracci non può più avere influenza.

La bilancia ordinaria di cui abbiamo parlato non può servire che per delle pesate inesatte. Per le pesate esattissime bisogna impiegare una bilancia più perfetta, che trabocchi facilmente ad un milligrammo, quando essa è carica di un chilogrammo in ogni bacino. Ecco le principali condizioni per mezzo delle quali si giunge a questi resultati.

La costruzione della bilancia deve sempre adattarsi alle cariche che è destinata a portare, giacchè queste misurano la rigidità e quindi la grossezza che convien dare all'asta. Costruendo questi istrumenti con asta e bacini estremamente leggieri, si rende sensibile a pesi estremamente piccoli. Un'al-

tra condizione per la bontà della bilancia si è che il suo equilibrio sia stabile; ed infatti se il centro di gravità coincidesse coll'asse di rotazione o punto di appoggio, l'equilibrio sarebbe indifferente, e la bilancia si troverebbe in equilibrio in tutte le posizioni, e spostata non potrebbe mai rimettersi da sè nella sua posizione. Se il centro di gravità fosse al di sopra del punto di appoggio, allora il centro di gravità cadendo dal lato del bacino carico, obbligherebbe la bilancia a discendere intieramente, è ciò accadrebbe pel più piccolo peso; la bilancia diverrebbe, come dicesi comunemente, *folle*. Infine se il centro di gravità trovasi situato al disotto del punto di appoggio, allora all'inclinarsi dell'asta il centro di gravità passa dalla parte che si solleva, per cui la bilancia tende a rimettersi nella sua primitiva posizione. Perchè però la bilancia così costruita trabocchi ad un piccolo peso, non deve il centro di gravità essere troppo al di sotto dell'asse di rotazione, giacchè il momento della forza che tende a ricondurlo cresce con questa distanza, ed è eguale allo sforzo necessario a spostarlo. I punti di sospensione dei bacini devono essere o nella stessa linea dell'asse; o meglio anche un poco al di sopra. In questo caso s'accresce la sensibilità della bilancia per le cariche forti non scendendo tanto il centro di gravità al di sotto del centro di rotazione. La durezza e il pulimento del piano su cui posa il coltello di sospensione dell'asta, l'angolo molto acuto, senza esser vivo, e la durezza della materia di questo coltello fanno sì che il suo contatto col piano non cangi, e provi il meno attrito possibile.

Le figure annesse c'indicano il modo col quale si costruiscono oggidì le bilance le più sensibili che si conoscano. L'asta *f* è traversata da un coltello di acciajo *a* (*Tav.* II, *Fig.* 56) il cui spigolo acuto riposa su dei piani *b* di acciajo o di agata. I due bacini *c* (*Tav.* II, *Fig.* 57) si attaccano all'asta mediante il gancio *d* e l'anello *g*, che va a riposare mediante due uncini sul tagliente del coltello *h*. Tutti questi punti di contatto sono a spigoli smussati e di acciajo; ne resulta che il centro di gravità di ogni bacino e dei pesi che contiene si pone liberamente nella verticale dei punti di appoggio, per cui rimane invariabile la sua distanza dal punto di sospensione nel mezzo dell'asta.

Per conservare la levigatezza del coltello di sospensione *a* e dei piani sui quali riposa, si adatta alla bilancia un sistema di forchette capaci di afferrare l'asta per disotto. Questo sistema può essere sollevato o abbassato a volontà, per cui si può tenere sollevata l'asta della bilancia mentre si cambiano i pesi nei bacini; poi lasciando dolcemente ridiscendere le forchette, il coltello viene a riposare sui suoi piani, e l'asta può fare delle oscillazioni più o meno grandi secondo che le forchette sono state più o meno abbassate. Si aggiunge infine un ago assai lungo all'asse di rotazione, il quale serve a indicare sopra un quadrante fisso alla base, i più piccoli cambiamenti d'inclinazione dell'asta, e a misurare l'ampiezza delle sue oscillazioni.

La *stadera* è una bilancia (*Tav.* II, *Fig.* 58) a braccia disuguali. Uno dei bracci *BC* conserva una lunghezza costante, e porta il bacino *E*, ed all'altro si applica, a differenti distanze dal fulcro *C*, il peso *Q* detto *romano*. Sul bacino *E* si colloca il corpo di cui si cerca il peso. È chiaro, che per le proprietà della leva di primo genere, il romano applicato a differenti distanze dal fulcro o asse di rotazione sul braccio più lungo della stadera, farà equilibrio con corpi di differente peso posti sul bacino. La stadera ha questo vantaggio sulla bilancia comune, che con un sol peso si determina quello di molti corpi diversi, mentre colla bilancia sono necessarj molti pesi.

Densità o peso specifico. Il peso di un corpo può anche essere determinato a fine di stabilire la sua densità. Infatti noi abbiamo già visto che essa deducesi dal rapporto che esiste fra la massa o peso e il volume del corpo. Questo rapporto costituisce una proprietà caratteristica per ogni corpo. Difatti un corpo sotto lo stesso volume, ha costantemente lo stesso peso. Un centimetro cubico di acqua pesa in tutti i paesi del mondo un grammo; un centimetro cubo di oro pesa 19 grammi e 258 milligrammi.

Il peso di un corpo sotto un volume dato, è ciò che chiamasi *densità* o *peso specifico* del corpo. Adunque prendendo i pesi dei varj corpi tutti sotto lo stesso volume, si hanno le varie loro densità, le quali sono sempre costanti purchè prese alla stessa temperatura, perchè il calore altera il volume dei corpi. Da ciò che si è detto, resulta:

1.° *Che a volumi eguali le densità dei corpi sono proporzionali ai loro pesi;*

2.° *Che a pesi eguali le densità sono in ragione inversa dei volumi;*

3.° *Che la densità può sempre esprimersi col rapporto del peso al volume*, ossia $D = \frac{P}{V}$.

Onde ottenere le densità o i pesi specifici dei corpi; si determina il loro peso assoluto sotto lo stesso volume, e quindi si trova il rapporto di questo peso con quello preso per unità. Pei corpi solidi l'unità si riferisce all'acqua, e all'aria pei corpi gassosi; così 19,258 è il peso specifico dell'oro, perchè è il peso di un centimetro cubo d'oro, mentre 1 è il peso di un egual volume di acqua.

In generale si chiama P il peso assoluto di un volume qualunque d'acqua, P' il peso assoluto di un egual volume di qualsiasi corpo; è chiaro che a volumi eguali essendo le densità proporzionali ai pesi il peso specifico del corpo si avrà dalla proporzione

$$P : P' :: 1 : X,$$

da cui si ha che $X = \frac{P'}{P}$. Perciò per trovare la densità, ossia il peso specifico di un corpo, basterà determinarne il peso assoluto, e quindi dividere questo pel peso di un eguale volume di acqua.

Quando trattammo delle macchine semplici dicemmo che non era possibile intendere le condizioni di equilibrio di un corpo sul piano inclinato e quelle della vite, senza prima esporre le nozioni principali relative alla gravità dei corpi. Avendo ora acquistate tali nozioni, torneremo a trattare di queste due macchine.

Del piano inclinato. Definimmo il piano inclinato qualunque piano che fa coll'orizzonte un angolo non retto. Il piano inclinato si annovera fra le macchine, in quanto che diminuisce l'effetto della gravità, la quale altrimenti si opporrebbe tutta intiera alla forza diretta a muovere il corpo. Vediamo adesso a quanto riducesi l'azione della gravità agendo su di un corpo che posi sopra un piano inclinato.

Rappresentiamo un piano inclinato all'orizzonte colla sezione fatta su di esso da un piano verticale. Sia *ABC* (*Tav.* II, *Fig.* 59) questa sezione: la retta *AC* chiamasi la *lunghezza* del piano; la verticale *AB* è la sua *altezza*, e l'orizzontale *BC* è la sua *base*. Il corpo *M* sia posto sopra questo piano. È certo che l'azione della gravità sarà in esso in parte distrutta: si tratta ora di determinare di quanto lo sarà. La linea *EG* perpendicolare all'orizzonte e diretta pel centro di gravità del corpo ci rappresenti la *gravità assoluta*, cioè quella forza colla quale cadrebbe liberamente senza la presenza del piano. Col principio del parallelogrammo delle forze si risolve *EG* nelle due componenti *EF* perpendicolare, ed *EH* parallela al piano. La forza *EF* diretta contro il piano e normalmente vi esercita una pressione e non ha alcuna azione per far cadere il corpo lungo di esso; rimane la *EH* che agisce sola per far cadere il corpo e che chiamasi *forza* o *gravità relativa.*

La somiglianza dei due triangoli *ABC*, *EFG* ci darà la proporzione

$$EG : FG = EH :: AC : AB,$$

la quale può tradursi in quest'altra: *la gravità assoluta g sta alla gravità relativa g', come la lunghezza sta all'altezza del piano inclinato.*

Chiamando *A* l'altezza del piano inclinato ed *L* la sua lunghezza, si ha la proporzione

$$g : g' :: L : A,$$

da cui si ricava, che la componente della gravità parallela al piano inclinato può esprimersi colla formola $g \frac{A}{L}$.

Supposto di voler fare equilibrio alla gravità del corpo *M* con una potenza *P*, la cui direzione sia parallela al piano inclinato, siccome la potenza dovrà essere eguale alla gravità relativa, se ne deduce che in questo caso *la potenza e la resistenza dovranno stare fra loro come la gravità relativa alla gravità assoluta, cioè a dire come l'altezza sta alla lunghezza del piano inclinato.*

Questa legge può verificarsi coll'esperienza. Si abbia un piano ben levigato, di cui si possa variare a volontà l'inclinazione coll'orizzonte. Sopra una carrucola fissa all'estremità su-

periore di questo piano scorra una cordicina unita con una estremità ad un cilindro di marmo posato sul piano, coll'altra che cade verticalmente, ad un bacino in cui pongonsi dei pesi. Variando l'inclinazione si ottiene sempre l'equilibrio variando i pesi che stanno nel bacino; così inclinando maggiormente il piano, dovranno aggiungersi più pesi, perchè il cilindro non cada. In tutti i casi di equilibrio si trova sempre, confrontando la lunghezza del piano colla sua altezza, che il peso del cilindro sta al peso che si ha nel piatto come la lunghezza all'altezza del piano.

Agisca ora la potenza P' in direzione parallela alla base BC (*Tav.* II, *Fig.* 59). Si prenda la forza LE eguale ed opposta alla gravità relativa EH, e da L si conduca la LN parallela ad EF sino all'incontro della direzione della potenza P', indi si compia il parallelogrammo EL, NR. È evidente che nel caso dell'equilibrio, la potenza P' dev'essere eguale a NE perchè risoluta nelle due forze ER, EL, l'una perpendicolare e l'altra parallela al piano AC. La ER sarà distrutta dal piano, e la sola EL si oppone direttamente alla gravità relativa EH, colla quale fa equilibrio come eguale ed opposta. Ora per le due parallele EN è CB, e le due NR e AC, l'angolo ENR eguaglia l'angolo C, e quindi i due triangoli ERN, ABC per essere anche rettangoli in R e in B sono simili, e perciò ERN riesce simile ad EFG. Dunque avremo la proporzione

$$EN : EG :: NR : EF$$

ossia per essere

$$NR = LE = EH = FG$$

$$EN : EG :: FG : EF$$

e siccome

$$FG : EF :: AB : BC$$

avremo

$$EN : EG :: AB : BC.$$

Dunque in questo caso la potenza sta alla resistenza, come l'altezza alla base del piano. Il piano inclinato è assai impiegato nelle arti, perchè lo sforzo necessario per sollevare ad una certa altezza un corpo sopra un piano inclinato può ridursi assai minore del suo peso: così se si dà ad un piano

una tale inclinazione che faccia la sua lunghezza 100 volte maggiore della sua altezza corrispondente, lo sforzo da esercitarsi per muovere il corpo sul piano ed inalzarlo alla sua altezza non sarà che $\frac{1}{100}$ del suo peso. E qui abbiamo luogo di ripetere ciò che dicemmo dell' effetto generale delle macchine. Anche in questo caso la quantità di lavoro non è minimamente cresciuta. La strada percorsa sul piano con una forza eguale ad $\frac{1}{100}$ del peso del corpo, è cento volte più lunga dell'altezza del piano, e in realtà il peso non si solleva che di questa altezza.

Nella discesa dei corpi sul piano inclinato, come in generale in ogni movimento di un corpo sopra un piano, v'è sempre una parte di forza distrutta dall'*attrito*, il quale può attribuirsi non solo al penetrare che fanno le prominenze delle due superfici che si toccano nei vacui respettivi delle medesime, ma anche all'aderenza che si produce in conseguenza della forza di attrazione molecolare, nel contatto di due superfici levigate, e tanto più quanto più sono levigate.

Egli è appunto per mezzo del piano inclinato che si è giunti in molti casi a determinare il valore di questa resistenza. L'apparecchio consiste in un piano mobile intorno ad una cerniera e di cui si può variare a volontà l'inclinazione, avendo sopra un arco graduato la misura dell'angolo. Posto un corpo M sopra un piano inclinato, si trova sempre una posizione sulla quale la sola resistenza o attrito distrugge l'effetto della gravità relativa, e il corpo non cade. Si determina l'angolo del piano, nel quale il corpo comincia a mettersi in movimento, e si calcola il valore della componente parallela al piano con la formula trovata $g\ \frac{A}{L}$, prendendo per l'angolo che dà i valori di A e di L un angolo minore di una quantità piccolissima di quello al quale il corpo ha cominciato a muoversi. Sarà questa componente la misura dell'attrito.

Resulta da molte esperienze di Coulomb, che in generale l'attrito è proporzionale alla pressione che il corpo esercita sul piano su cui si muove, ed all' estensione della sua superficie; che è molto minore allorquando il corpo è in moto, di

quello che quando comincia a muoversi dopo averlo lasciato qualche tempo in riposo; che è maggiore fra corpi della stessa natura, che fra corpi di natura diversa; che infine è assai più piccolo, allorchè ha luogo il contatto fra parti successivamente diverse di due superfici, di quello che quando i punti di contatto di una delle due superfici rimangono costantemente gli stessi; o in altre parole, l'attrito è infinitamente diminuito se le due superfici che si toccano si muovono contemporaneamente.

Della vite. Per determinare nella vite le condizioni dell'equilibrio fra la potenza e la resistenza si ricorre alle seguenti considerazioni.

Sia *ABDC* (*Tav.* II, *Fig.* 60), un cilindro attorno al quale si avvolgano i triangoli o piani inclinati eguali *BHP*, *PIQ*, *QLR* ec., ciascuno dei quali abbia per base le linee *PH*, *QI*, *RL* ec., equivalenti in lunghezza alla periferia del cilindro, e le ipotenuse *BH*, *PI* ec., formino un orlo rilevato. È chiaro che nell'avvolgimento di quei triangoli il punto *H* verrà a coincidere con *P*, *I* con *Q*, *L* con *R* ec., e che formando ciascuno coll'orlo sporgente una spira, tutte queste spire si riuniranno e formeranno attorno al cilindro un'elica continua rilevata. Quest'elica in tal modo formatasi costituirà il pane della vite e trasformerà il cilindro *AB C D* in un mastio. Il passo della vite sarà eguale alle altezze *BP*, *PQ*, *QR*, tutte eguali fra loro, di ciascun piano inclinato; e le basi *PH*, *QI* ec., saranno eguali alla periferia del cilindro. Dunque nella vite il *pane* è la *lunghezza* in rilievo d'un piano inclinato, il *passo* ne è l'altezza, mentre la *periferia* del cilindro ne eguaglia la *base*. Quindi un punto pesante in equilibrio sul filo della vite deve considerarsi come in equilibrio su tal piano inclinato. Ciò posto, poichè la potenza che si applica alla vite, agisce parallelamente alla circonferenza del cilindro, ossia alla base del piano, *la potenza della vite starà alla resistenza, come il passo della vite* (altezza del piano), *alla circonferenza del cilindro* (base del piano); oppure nel caso che la potenza venga applicata al cilindro mediante una manovella, *la potenza starà alla resistenza, come il passo della vite alla circonferenza descritta dalla potenza.*

L'applicazione della vite ad altre macchine ne può aumentare l'effetto. Suppongasi per es. che la ruota di un tornio sia dentata, e che i suoi denti ingranino colle spire di una vite che una potenza tende a far girare per mezzo di una manovella. Si determinerà il rapporto della potenza al peso nel modo seguente.

Sia F (*Tav.* II, *Fig.* 61) la potenza, S la resistenza che uno dei denti della ruota oppone al pane della vite, a l'altezza di una spira, k il raggio della circonferenza che tende a descrivere la potenza.

Si avrà primieramente

$$F : S :: a : \text{circ. } k$$

Inoltre essendo P il peso applicato alla circonferenza del cilindro, R il raggio della ruota, ed r il raggio del cilindro, si avrà

$$S : P :: r : R$$

e moltiplicando le due proporzioni si ottiene

$$F : P :: ar : R \text{ circ. } k$$

cioè a dire, la *potenza sta al peso o alla resistenza, come il prodotto del passo della vite pel raggio del cilindro, al prodotto del raggio della ruota dentata per la circonferenza descritta dalla potenza.*

Questa macchina chiamasi *vite perpetua*, e partecipa della leva, del piano inclinato e del tornio.

Leggi della caduta dei corpi. – Dopo aver mostrato che in realtà tutti i corpi cadono colla stessa velocità, bisogna cercare qual'è questa comune velocità che regola la caduta di ogni sorta di materia, e in generale qual rapporto esiste tra lo spazio che percorre un corpo pesante e il tempo che impiega a percorrerlo. Questo rapporto sarà la legge della gravità, cioè a dire la legge del moto che la gravità imprime alla materia.

Questa questione non può essere risoluta in un modo diretto, perchè la velocità dei corpi che cadono prende un'accelerazione così rapida, che a capo di pochi istanti non è più possibile di notare gli spazj che percorrono. Ma ciò che non può essere ottenuto con delle osservazioni dirette, si ottiene

con dei mezzi indiretti, quali sono il piano inclinato di Galileo e la macchina di Atwood, il primo più semplice, ma il secondo più rigoroso.

Piano inclinato di Galileo. - Consiste in una corda di 10 a 12 metri di lunghezza, che si tende fra due punti fissi, uno dei quali è più basso dell'altro, e sulla quale si fa scorrere una piccola carrucola di metallo convenientemente disposta. Il peso della carrucola, sarebbe intieramente distrutto, se la corda fosse orizzontale; essa produrrebbe tutto il suo effetto se fosse verticale; e poichè la corda ha un certo grado d'inclinazione, la gravità non opera sulla carrucola che ridotta in una certa proporzione. Ma qualunque sia il rapporto col quale si diminuisce una forza, sia che si riduca alla metà, al terzo o al quarto della sua grandezza, non si cambia che il momento assoluto che essa imprime, senza nulla cambiare al rapporto degli spazj percorsi in tempi dati. Perciò la legge che noi osserveremo sulla corda inclinata, sarà la vera legge della gravità. Ora, se si lascia scorrere la puleggia a un dato istante, se si notano gli spazi che percorre nel primo secondo, nei primi due secondi ec., si osserva che questi spazi percorsi sono fra loro come i quadrati dei tempi impiegati a percorrerli. Dunque il movimento che la gravità imprime segue la stessa legge, il che vuol dire che la gravità è una forza acceleratrice costante.

Macchina di Atwood. - Per la semplicità del ragionamento noi ridurremo questo apparecchio ai suoi elementi essenziali, cioè a dire ad una puleggia perfettamente mobile, sulla quale passa un filo finissimo, che è tirato a ciascuna delle sue estremità dallo stesso peso *m*. L'equilibrio esiste quando i due pesi sono allo stesso livello, ed esiste anche quando l'uno è più alto dell'altro, e ciò atteso il peso appena sensibile del filo. Aggiungiamo adesso da un lato una piccola massa che rappresenteremo con *n*; è chiaro che l'equilibrio vien rotto, che il peso *n* trascina il peso sul quale riposa e che lo costringe a discendere, mentre costringe l'altro a salire. Ma qual è il movimento che ne resulta? È forse lo stesso di quello che pren-

derebbe il peso n cadendo liberamente, ovvero è desso modificato dai pesi opposti che si muovono con lui?

Il movimento delle due masse primitive è quello soltanto che vien loro comunicato dalla massa n; quindi questa perde considerevolmente di forza, e cade assai meno velocemente che se cadesse sola. È anche facile trovare di quanto la sua caduta è rallentata.

Sia g la velocità che sarebbe dovuta alla gravità dopo un secondo di tempo; la massa n se fosse libera avrebbe dunque dopo un secondo questa stessa velocità g, e quindi una quantità di movimento gn. Sia x la velocità sconosciuta che prendono dopo un secondo le due masse m e la piccola massa n cadendo insieme; la quantità di movimento del sistema sarà $x(2m + n)$, poichè le masse che si muovono sono da un lato m, e dall'altro $m + n$, di cui la somma è eguale a $2m + n$. Ora in un secondo la massa n riceve dalla gravità la stessa quantità di movimento, sia che cada liberamente, sia che cada con un moto ritardato da altre masse. Dunque $x(2m + n) = gn$ da cui
$$x = g\frac{n}{2m + n}$$

È questa nella macchina dell'Atwood la velocità del corpo che cade. Essa è sempre più piccola di g, e potrà esserne quella frazione che si vorrà. Se vuolsi p. es. che sia un centesimo, basterà che $\frac{n}{2m + n}$ sia $= \frac{1}{100}$, da cui si ha
$$100\,n = 2m + n, \text{ e quindi}$$
$$n = \frac{2m}{99} = \frac{m}{49{,}5}$$

Ciò vuol dire che il piccolo peso dovrà essere $\frac{1}{49}$ e $\frac{1}{2}$ di m. Prendendo p. es. $n = 10$ grammi, converrà che il peso di m sia eguale a 49,5 grammi.

Questo modo di ridurre la velocità è il vero principio della macchina di Atwood. Ecco ora la sua disposizione.

(*Tav.* III, *Fig.* 62). 1.° Per evitare l'attrito si fanno riposare le estremità dell'asse della puleggia su due altre pulegge più piccole, di cui gli assi terminano in pernj che girano dentro incavi di acciajo.

2.° Per misurare gli spazj con esattezza si dispone presso

la colonna un'asta verticale e divisa $R\ R'$ lungo la quale deve cadere la massa $m + n$ senza toccarla. Su quest'asta scorrono un anello a ed un piano c, che possono fissarsi in un punto qualunque dell'asta.

3.° Per valutare il tempo durante il quale il mobile si è mosso, si adatta presso la macchina un orologio a secondi.

4.° In oggi questi orologi sono costruiti con un meccanismo che serve a sostenere, e quindi a lasciare andare nel tempo stesso il pendolo e la massa. Ecco come si fanno l'esperienze con questa macchina.

Si lasciano andare contemporaneamente il pendolo dell'orologio e i pesi della macchina, e si notáno sull'asta gli spazi percorsi dopo il 1.° secondo, dopo il 2.° il 3.°, e così di seguito, e si osserva che *gli spazj sono proporzionali ai quadrati dei tempi*. Se dopo il 1.° secondo il corpo ha percorso uno spazio di un pollice, dopo il 2.° ne avrà percorso uno di quattro pollici, dopo il 3.° uno di nove, e così di seguito. Dimodochè, se in questo caso porremo il piano nove pollici al di sotto della estremità superiore dell'asta, saremo sicuri che il peso della macchina verrà a posarsi sopra dopo tre minuti secondi; se lo porremo 25 pollici al di sotto della stessa estremità, il piano verrà a posarsi dopo 5 minuti secondi. Ciò significa che il corpo che nel primo secondo ha percorso uno spazio di un pollice, nel secondo ne ha percorso uno di tre pollici, nel terzo uno di cinque, e così di seguito.

Disponiamo ora l'anello dell'asta ad un'altezza tale che arresti la massa n, alla quale si sia data la forma di una verghetta più lunga del diametro dell'anello, dopo un secondo di caduta dall' istante della partenza. Quando n si è fermato, tutto il movimento non si arresta, giacchè le masse m hanno una velocità acquistata, in grazia della quale continuano a muoversi: solamente la gravità non agisce più per cangiare il loro movimento, n essendo stato tolto, è stata tolta la forza acceleratrice, e il moto che succede è un moto uniforme.

Ora, la velocità di questo movimento uniforme (per ciò che dicemmo relativamente al moto uniformemente accelerato), è precisamente quella stessa del movimento accelerato che aveva luogo alla fine del primo secondo; e per trovarla

basta porre il piano *c* in tal guisa che *m* venga a percuoterlo esattamente dopo un secondo che *n* è stato tolto, cioè a dire due secondi dopo la partenza di *n*. Allora la distanza dell'anello *a* dal piano *c*, è lo spazio che *m* ha percorso in un secondo in virtù del movimento uniforme: ci esprime adunque la velocità di questo movimento e quindi la velocità del movimento accelerato. Si fa un secondo esperimento non togliendo la massa *n* che dopo due secondi di tempo, e se ne fa un terzo togliendola dopo tre secondi, e si ha così la velocità del movimento accelerato dopo uno, due e tre secondi. Ora se nel primo esperimento *m* ha percorso uno spazio eguale, p. es. a tre pollici, nel secondo esperimento, cioè a dire dopo due secondi di moto accelerato, *m* ha percorso uno spazio eguale a sei pollici, e nel terzo uno spazio eguale a nove pollici. Dunque *queste velocità stanno fra loro come* 1, 2, 3*; dunque crescono proporzionalmente ai tempi.*

È anche da osservarsi che lo spazio percorso dalla massa *m* con moto uniforme, è sempre doppio di quello percorso nello stesso tempo con moto uniformemente accelerato. Così si vede, che se dopo un secondo di tempo la massa *n* ha percorso con moto uniformemente accelerato uno spazio di tre pollici, ne percorre la massa *m* in un secondo con moto uniforme uno di sei, e ne percorre uno di 24 se la massa *n* abbandona la massa *m*, dopo due secondi di moto uniformemente accelerato.

Le leggi del moto, che ci sono date dalla macchina di Atwood, sono adunque le seguenti.

1.° *Gli spazi sono proporzionali ai quadrati dei tempi.*

2.° *Le velocità crescono proporzionalmente ai tempi.*

3.° *La velocità acquistata da un grave che cade è tale da far percorrere al corpo in un dato tempo e con moto uniforme, uno spazio doppio di quello percorso prima nello stesso tempo.*

Queste leggi appartengono tutte al moto uniformemente accelerato, e si accordano con quelle di Galileo per provare che la gravità che agisce alla superficie della terra è una forza acceleratrice costante.

Tutto ciò che si è detto del moto uniformemente accelerato della caduta dei gravi, può applicarsi al moto informemente

ritardato che ha luogo per un corpo spinto con una certa forza in direzione contraria a quella della gravità. Le azioni successive di questa forza agiscono continuamente, onde distruggere la velocità impressa, e questa estinta il corpo ricade come partendo dallo stato di quiete. È così che per inalzare un projettile ad un'altezza qualunque, conviene comunicargli una velocità eguale a quella che acquisterebbe per l'azione della gravità cadendo dalla stessa altezza. In questo caso le velocità del mobile tanto nel salire che nel cadere sono le stesse ad eguali altezze, e la velocità alla fine della caduta é eguale a quella che dovrà essergli comunicata all'origine del moto ascensionale. Se l' impulso iniziale è inclinato all'orizzonte, per l'azione combinata ad angolo della forza istantanea di projezione e per quella continua di gravità, s' innalzà descrivendo una curva, e cade in seguito descrivendo una curva simile. Anche in questo caso le velocità sono eguali alle stesse altezze, e la curva descritta, facendo astrazione dalla resistenza dell'aria, è una parabola ad asse verticale. In questi ragionamenti abbiamo trascurato la resistenza dell'aria. Accade per questa resistenza che il projettile giunge ad un'altezza molto minore di quella a cui giungerebbe se la velocità iniziale non fosse diminuita, ed è per la stessa resistenza che perde nello scendere una nuova porzione di forza. Quindi è che una palla di fucile lanciata in alto e poi ricevuta al suo cadere sopra una tavola, non la fora come può fare al suo uscire dal fucile.

Caduta dei gravi per le linee curve. — Si dimostra in meccanica che la velocità acquistata da un corpo cadendo per la lunghezza del piano inclinato, è la stessa di quella che acquista cadendo per l'altezza del piano. S'immagini ora una serie di piani inclinati disposti in modo che l'angolo fatto fra un piano e il successivo differisca di una quantità infinitamente piccola da 180°: la perdita di velocità nel passaggio da piano a piano potrà considerarsi infinitamente piccola, per cui la velocità acquistata dal corpo, cadendo per una serie di piani inclinati contigui, sarà eguale a quella che acquisterebbe cadendo per la verticale che misura l'altezza comune di tutti i

piani. Gli elementi successivi di una curva qualunque continua possono riguardarsi come un complesso di un numero infinito di piani infinitesimi, inclinati fra loro in modo da formare un angolo minore di 180° di una quantità infinitesima. Non vi sarà perciò che una perdita infinitamente piccola di velocità nel passaggio dal primo elemento al secondo, e il corpo acquisterà, cadendo per un arco qualunque, la velocità stessa che acquisterebbe cadendo per l'altezza verticale compresa fra le due estremità dell'arco. Accadrà perciò di un corpo che cade con moto accelerato per una curva, ciò che abbiamo dètto dovere accadere nel caso che egli cada per la verticale, cioè a dire, che la velocità che esso acquista cadendo da una certa altezza, è tale che lo farebbe risalire ad una altezza eguale a quella da cui è caduto. Questo fatto si dimostra anche coll'esperienza. Se si ha un corpo qualunque attaccato ad una estremità di un filo mobile intorno ad un punto fisso, è certo che allontanato dalla sua posizione di equilibrio e poi abbandonato a sè, tende a ristabilirvisi; ma discendendo per un certo arco con moto accelerato, acquista alla fine della caduta una velocità tale, che gli fa oltrepassare la posizione di equilibrio, e l'obbliga a risalire dal lato opposto per un arco di lunghezza eguale a quello da cui è disceso. È su questi principj che è fondata la costruzione del pendolo.

Del Pendolo. — Il pendolo ordinario si compone di una palla pesante sospesa all'estremità di un filo flessibile. Le sue proprietà più fondamentali sono: 1.° di segnare la direzione verticale o quella della gravità; 2.° di fare delle oscillazioni piane quando si allontana dalla verticale e che si abbandona a sè stesso senza dargli alcuno impulso. Di fatti se si pone il pendolo in una posizione qualunque *f a* (*Tav.* III, *Fig.* 63) e si lascia cadere liberamente, esso discende fino in *l*, oltrepassa questo punto, risale dall'altro lato fino in *b*, descrivendo un arco *l b* eguale all'arco *l a*; in seguito cade di nuovo, giunge in *l*, risale in *a*, e continua così il suo movimento durante lunghissimo tempo. Si può osservare che quando il pendolo discende, la velocità va aumentando fino in *l*, e che al contra-

rio quando risale, va decrescendo dal punto l fino al punto dove si ferma.

L'angolo $a\ f\ l$ si chiama *angolo di allontanamento.* Il movimento di a in b o di b in a, è ciò che chiamasi un'*oscillazione ;* quello di a in l una *semi-oscillazione discendente*, e di l in b una *semi-oscillazione ascendente.* L'*ampiezza* dell'oscillazione è l'arco $a\ b$, misurato in gradi, minuti e secondi. La *durata* di un'oscillazione è il tempo che il pendolo impiega a percorrere quest'arco.

Un pendolo, una volta posto in moto, non cesserebbe mai di oscillare se non vi si opponessero la resistenza dell'aria e gli attriti del punto di sospensione, i quali ogni volta diminuiscono la lunghezza dell'arco che ascende, fino a distruggere completamente il suo movimento.

Il pendolo è uno degli strumenti i più semplici della fisica, e non di meno è uno dei più importanti, perchè serve alla misura esatta del tempo, alla determinazione della figura della terra, a risolvere le più importanti questioni intorno all'attrazione generale della materia, e a mostrarci con materiale evidenza il movimento rotatorio del globo intorno al suo asse. Onde analizzare con facilità il movimento del pendolo, si considererà, come si fa in meccanica, un pendolo ideale, che si distingue col nome di *pendolo semplice*, il quale s'immagina formato da una linea rigida inestendibile e senza peso, fissa ad una delle sue estremità e terminata all'altra con un punto materiale pesante. Data la forma e la densità di tutte le parti che compongono un pendolo ordinario, la meccanica insegna a ridurlo ad un pendolo semplice, e dà la lunghezza del pendolo semplice corrispondente.

Sia M (*Tav.* III, *Fig.* 64) il punto materiale pesante unito al filo supposto senza peso e inestendibile. Si supponga spostato dal punto M, in cui il pendolo semplice è in riposo, al punto M', e si abbandoni: la gravità agendo secondo la retta MP potrà decomporsi in due altre forze, una delle quali $M'Q$, diretta secondo la linea di sospensione, sarà distrutta dalla resistenza di questa linea, l'altra $M'\ n$, diretta secondo la tangente al circolo descritto dall'estremità del pendolo, tenderà a ricondurlo nella sua posizione iniziale. Le intensità di

queste due forze si determineranno prendendo sulla direzione della gravità una linea M' P per rappresentare questa forza, e costruendo il parallelogrammo M' Q P n. Ad ogni nuova posizione del punto materiale, una nuova forza tangenziale s'aggiungerà alle precedenti, ed il pendolo scenderà con moto accelerato al punto M di riposo. Questa forza tangenziale, che rappresenta realmente l'impulso dato, varia coll'angolo che fa il pendolo colla verticale, per cui si vede che non è costante la forza acceleratrice di questo movimento. Il punto materiale si muove perciò con moto accelerato in virtù di successivi impulsi che diminuiscono d'intensità. Giunto al punto più basso della corsa, la velocità acquistata nella caduta da M' ad M sarà massima, e gli farà oltrepassare questo punto; ma a misura che salirà, l'azione della gravità, decomponendosi come precedentemente, distruggerà ad ogni istante parte della velocità acquistata nella caduta; e alla fine, questa ridotta a zero, farà di nuovo discendere il corpo, e così seguiteranno a riprodursi gli stessi movimenti.

Leggi del movimento del pendolo. — 1.ª *La durata delle oscillazioni è indipendente dalla loro ampiezza, allorchè sono di un'ampiezza piccolissima.* Si dice che sono *isocrone* per esprimere che si fanno tutte nello stesso tempo. Le oscillazioni di cinque o sei gradi di ampiezza non sono più isocrone; esse cominciano ad avere una durata sensibilmente più grande. Questa legge può dimostrarsi rigorosamente col calcolo sublime. Colla esperienza si può dimostrare approssimativamente.

Per dimostrare questa legge coll'esperienza convien dedurre la durata di un'oscillazione dal contare parecchie centinaja di oscillazioni; le une dell'ampiezza di quattro a cinque gradi, altre un poco più tardi, quando sono ridotte a due o tre gradi, e le ultime verso la fine del movimento, quando non sono più sensibili all'occhio, e che bisogna osservarle con una lente. Ad un tratto fa maraviglia che il pendolo impieghi quasi lo stesso tempo a percorrere un arco di $\frac{1}{10}$ di grado e a percorrerne uno di cinque gradi, che è per conseguenza 50 volte più grande; ma se ne concepisce la ragione osservando che nel secondo caso la gravità gl'imprime molta maggior velo-

cità, perchè agisce più obliquamente. Questa legge fu scoperta da Galileo mentre era ancor giovane, e si racconta che gliene diede occasione il movimento di una lampada della cattedrale di Pisa, posta accidentalmente in oscillazione.

Sopra questa legge è fondata l'applicazione del pendolo agli orologi. La caduta di un grave o il distendersi di una molla sono le forze che imprimono il movimento agli orologi, le quali non produrrebbero, abbandonate a sè stesse, se non un movimento accelerato e di breve durata. Si converte in un movimento regolare per mezzo del pendolo. È a Cristiano Huyghens, detto dagl' Italiani Ugenio, che si deve l'applicazione del pendolo come regolatore degli orologi.

Per bene intendere come agisce questo regolatore, si concepisca primieramente un peso applicato alla prima ruota di un orologio per mezzo di una fune avvolta intorno ad un cilindro. L'azione di questo peso fa girare questa ruota dentata, la quale comunica il moto a tutto il sistema. Ora egli è chiaro che se nulla arrestasse il moto che prendono le ruote dell'orologio, l'azione del peso farebbe girare rapidamente tutto il sistema, finchè la fune si fosse totalmente svolta dal cilindro. Ma se all'ultima ruota *A* (*Tav.* III, *Fig.* 65), che chiamasi *ruota d'incontro*, s'immagini un pendolo formato del corpo pesante *M* e della verga *L*, alla quale si aggiunga un pezzo *ILK* fatto a guisa di àncora, che faccia corpo con questa verga ed oscilli con essa, allora per ogni volta che il corpo *M* passerà oscillando dall'altra parte della verticale *GN*, la paletta *K* dell'àncora s' innalzerà, e lasciando in libertà il dente che teneva fermo, questo dente scapperà, ed intanto la ruota comincerà a girare. Ma non potrà passare in giro che un sol dente, perciocchè l'altra paletta *I* dell'àncora abbassandosi nello stesso tempo in cui s' innalza il punto *K*, fermerà il dente che incontra, e così di seguito, per modo che non iscapperà che un sol dente per ciascuna oscillazione. Ora il pendolo posto una volta in moto continua a fare le sue oscillazioni in tempi eguali, in guisa che i denti della ruota si distaccano alternativamente ad eguali intervalli, ed il movimento di tutte le ruote ha la più grande regolarità che si possa desiderare. A questo meccanismo si è dato il nome di *scappamento*, perchè

il suo oggetto si' è di fare scappare i denti della ruota d'incontro l'uno dopo l'altro e ad intervalli eguali. Egli è chiaro che la pressione che i denti della ruota esercitano contro lo scappamento perpetuerà il movimento del pendolo; questo durerà a muoversi, finchè il peso sarà giunto al basso della corsa o la molla affatto distesa.

2.ª Legge. *Le durate delle oscillazioni stanno fra loro come le radici quadrate delle lunghezze dei pendoli.*

Questa legge si dimostra coll'esperienza. Basta fare oscillare dei pendoli di diverse lunghezze e misurare la durata di una oscillazione per ognuno di essi. Si ottiene facilmente la durata di una oscillazione contando un gran numero di oscillazioni. Se per es. si prendono dei pendoli di cui le lunghezze stiano fra loro come i numeri 1, 4, 9, si osserverà che le durate di una oscillazione di ognuno di essi stanno fra loro come i numeri 1, 2, 3, dimodochè confrontando due pendoli uno dei quali sia quattro volte più lungo dell'altro, si osserverà che il più corto fa un numero doppio di oscillazioni nello stesso tempo; se fosse lungo nove volte più, il più corto ne farebbe un numero triplo, e così di seguito.

3.ª Legge. *La durata delle oscillazioni è affatto indipendente dal peso della palla e dalla natura della sua sostanza.*

Questa legge si dimostra facilmente prendendo differenti globi, di metallo, d'avorio o di altre sostanze, e componendone dei pendoli della stessa lunghezza, che si fanno oscillare insieme. Si vede che i movimenti di tutti questi pendoli restano concordi per lungo tempo.; e le differenze che alla fine appariscono dipendono dall'azione ineguale degli attriti e delle resistenze sopra i diversi globi.

Questo fatto, meglio ancora di quello da noi esposto relativamente alla caduta dei corpi nel vuoto, ci prova che la gravità agisce egualmente su tutti i corpi. Di fatti mentre nelle esperienze nel vuoto non possiamo osservare l'azione della gravità che per un intervallo piccolissimo di tempo, possiamo invece col pendolo continuare questa osservazione dell'azione della gravità sopra diversi corpi, per ore intiere. Benchè il

movimento non abbia luogo nel pendolo che per archi assai piccoli, nulladimeno la serie delle oscillazioni fatte durante un tempo lungo, può considerarsi come un movimento progressivo e rettilineo con cui cade costantemente la lente del pendolo.

Onde verificare coll'esperienza le tre leggi da noi esposte, conviene nella costruzione del pendolo, ravvicinarsi il più che sia possibile alla semplicità del pendolo ideale, che abbiamo detto consistere in un filo inestendibile senza peso, alla cui estremità non fissa deve trovarsi una sola molecola pesante. Si ottiene questo resultato, adoperando un filo metallico estremamente sottile, fisso superiormente ad un asse di acciajo tagliato ad angolo acuto, come quello che sopporta l'asta della bilancia, e posato sopra due piani di appoggio perfettamente levigati ed ugualmente duri. All'estremità inferiore si fissa una sfera metallica di una massa assai grande relativamente a quella del filo di sospensione, ovvero una scatola lenticolare di ottone ripiena di piombo, che dicesi *lente*. Un pendolo così costruito oscilla sensibilmente come un pendolo semplice, la cui lunghezza sia eguale alla distanza del centro di gravità della sfera dal punto di sospensione.

Un pendolo ordinario, quello stesso anche di cui abbiamo ora indicata la costruzione, è sempre un pendolo composto. Un filo inflessibile e senza peso, al quale fossero attaccate due molecole m ed n (*Tav.* III, *Fig.* 66), formerebbe un pendolo composto. In questo apparecchio la velocità di oscillazione si compone infatti delle velocità d'oscillazione che prenderebbero separatamente ciascuna delle piccole masse oscillando liberamente. La molecola m, che non è che alla distanza $m\,f$ dal punto di sospensione tende ad oscillare più velocemente della molecola n che ne è alla distanza $f\,n$; ma poichè esse sono legate fra loro e costrette a muoversi insieme e a compiere la loro oscillazione nello stesso tempo, la prima è ritardata dalla seconda, e la seconda accelerata dalla prima; quindi ne nasce una velocità intermedia che è quella del pendolo composto. Se in luogo di due molecole sole si supponga una serie di molecole distese lungo l'asta del pendolo, potremo ripetere le considerazioni fatte precedentemente: le prime molecole saranno ritardate per lo sforzo che fanno ad accelerare

le lontane, che oscillerebbero più lentamente di esse; le più lontane sono accelerate per l' impulso che ricevono dalle prime che tendono ad oscillare più velocemente. Vi sarà dunque in ogni pendolo composto un punto che non sarà nè accelerato nè ritardato, e che farà le sue oscillazioni liberamente come se fosse solo e sospeso per una lunghezza eguale alla sua distanza dal punto di sospensione. Questo punto è detto *centro di oscillazione*, e la sua distanza dal punto di sospensione è ciò che dicesi lunghezza del pendolo. Questa lunghezza è infatti eguale a quella del pendolo semplice, che oscillasse colla stessa velocità del pendolo composto.

La posizione del centro di oscillazione dipende dalla forma del corpo che oscilla, se il corpo è omogeneo, e dalla forma e densità delle diverse sue parti, quando sia composto di varie materie. Vedesi da ciò quanto interessi, allorchè il pendolo è destinato alla misura del tempo, di mantenere costante la sua lunghezza. Si applica perciò ai pendoli, al di sotto della loro lente, una massa pesante che si fa scendere e salire onde ritardare o avanzare l'orologio: più comunemente poi si dà questo movimento alla lente stessa abbassandola o inalzandola per mezzo di una vite.

Misura dell' intensità della gravità col pendolo. Le leggi che abbiamo stabilito intorno al movimento del pendolo sono intieramente indipendenti dalla intensità della gravità. L' isocronismo delle piccole oscillazioni e il rapporto fra la lunghezza del pendolo e la durata delle sue oscillazioni, non variano quand'anche si supponesse variare l' intensità di questa forza. È il caso stesso delle leggi della caduta dei gravi: si riduca la forza di gravità ad $\frac{1}{10}$, ad $\frac{1}{100}$; i corpi cadranno sempre percorrendo spazi proporzionali ai quadrati dei tempi e acquistando velocità proporzionali ai tempi.

Ma benchè queste leggi non cangino coll'intensità di questa forza, cambierebbe però la durata assoluta d'ogni oscillazione del pendolo. Se la gravità aumentasse d'intensità, i corpi cadrebbero con maggiore velocità, e i pendoli sarebbero più pronti a fare le loro oscillazioni. Il pendolo può dunque servire a determinare l' intensità della gravità, ed è anzi l' istrumento che ci dà più esattamente questa misura.

Per giungere a questa determinazione, bisogna conoscere qual'è il rapporto che esiste fra la durata di un'oscillazione, la lunghezza del pendolo e l'intensità della gravità. Sia l la lunghezza di un pendolo qualunque, espressa in metri. Sia T la durata di un'oscillazione di questo pendolo, espressa in secondi. Sia π il rapporto approssimativo della circonferenza al diametro, il cui valore è come sappiamo $\pi = 3,1415926$. Infine sia g l'intensità della gravità, cioè a dire il numero dei metri che esprime la velocità acquistata da un corpo dopo un secondo di tempo di caduta libera. La durata di un'oscillazione di questo pendolo è espressa dalla formola, che ci dà la meccanica

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

da cui si ha

$$g = \frac{\pi^2 l}{T^2}$$

cioè a dire che l'intensità della gravità è eguale al quadrato del rapporto approssimativo della circonferenza al diametro, moltiplicato per la lunghezza del pendolo; e diviso pel quadrato del tempo di una oscillazione.

Per avere l'intensità della gravità in un dato luogo, basterà dunque di fare oscillare un pendolo, di misurarne la lunghezza per avere l, osservare la durata di un'oscillazione per avere T, e di fare in seguito i calcoli indicati dalla formula. Questa formula è quella che conviene al pendolo semplice; e perchè non è dato impiegare che dei pendoli composti, bisogna prima ridur questi in pendoli semplici. Borda è stato il primo fisico, che abbia dato un metodo esatto per fare questa riduzione, ed è stato quindi il primo che abbia determinato il valore di g, che trovò essere per Parigi eguale a $9,^{m}\ 8088$. Questo numero significa che un corpo che cade nel vuoto per un secondo di tempo, acquista tanta velocità da percorrere, cessando di agire la gravità, uno spazio di $9^{m}, 8088$ in tutti i secondi seguenti. Ciò può esprimersi ancora dicendo, che un corpo che si muove nel vuoto, partendo dal riposo, percorre in un secondo uno spazio che è di $4,^{m}\ 9044$; giacchè abbiamo visto che la velocità che acquista un corpo per l'azione della gravità in un dato tempo, è tale da fargli percorrere uno spazio doppio, nello stesso tempo, con moto uniforme.

Conosciuta così l'intensità della gravità per un dato luogo, è facile di vedere come si possa coll'esperienza conoscere se e quanto varia in altri luoghi. Di fatti si ricava dalla formula indicata, che *le intensità della gravità sono in ragione inversa del quadrato del tempo della durata di un'oscillazione*; che cioè se chiameremo g e g' le intensità della gravità in due circostanze diverse, e T e T' le durate delle oscillazioni nelle medesime circostanze, avremo

$$g : g' :: T'^2 : T^2$$

Perciò basterà di avere un pendolo di forma e di lunghezza invariabile, e determinare il numero delle oscillazioni fatte nello stesso tempo in due luoghi diversi. Se le intensità della gravità in questi due luoghi saranno diverse, dovranno esse stare fra loro in ragione inversa dei quadrati dei tempi impiegati a fare un'oscillazione nei due diversi luoghi. Così se in un punto A della terra, la intensità della gravità sarà doppia che in un punto B della medesima, converrà che uno stesso pendolo faccia in A un'oscillazione in un tempo quattro volte più corto che in B, ovvero quattro oscillazioni nello stesso tempo che ne compie una in B.

In un luogo ove la gravità è più intensa, per ottenere da un pendolo lo stesso numero di oscillazioni in un dato tempo che in un altro luogo ove la gravità è meno intensa, converrà fare il pendolo più lungo; e si deduce dalle formole date che *le lunghezze dei pendoli devono essere proporzionali alle intensità della gravità.*

Il resultato ottenuto determinando l'intensità della gravità per diversi punti della superficie della terra, è assai importante. Si è trovato che dal polo all'equatore l'intensità della gravità diminuisce. Nel 1672 Richer essendo giunto alla Cajenna, che è distante 100 leghe dall'equatore, scoprì questo fatto. Egli osservò che il pendolo che batteva i secondi a Parigi, doveva accorciarsi di una linea e $\frac{1}{4}$, affinchè ivi pure facesse una vibrazione ad ogni minuto secondo. Questa esperienza fu in appresso confermata da molte altre, per cui si concluse che quanto più si va verso l'equatore, tanto più si deve accorciare il pendolo semplice affinchè continui a battere i secondi.

La diminuzione della gravità dal polo all'equatore è dovuta:
1.° Allo schiacciamento della terra ai poli;
2.° Alla forza centrifuga.

L'influenza dello schiacciamento della terra è evidente, perchè i corpi che sono all'equatore sono più lontani dal centro d'attrazione della sferoide terrestre, e quindi sono meno attirati. Per concepire l'effetto della seconda causa bisogna ricordarsi che per ogni punto di una sfera che gira intorno ad un asse, la forza centrifuga è proporzionale alla sua distanza dall'asse di rotazione. Perciò essa è al suo massimo grado all'equatore; e siccome detta forza tende ad allontanare tutti i corpi dal centro della terra, è direttamente in opposizione con la forza di gravità che tende invece ad avvicinarli al suo centro. Presso i poli la gravità non trova che un tenuissimo ostacolo nella forza centrifuga, mentre che avvicinandosi all'equatore quest'ostacolo va sempre aumentando.

Applicazione del pendolo alla dimostrazione esperimentale della rotazione della terra. – Il pendolo, questo mirabile istrumento che ci ha rivelato tante importanti verità fisiche, serve anche a dimostrare nel modo il più evidente la rotazione del nostro globo intorno al suo asse. Quest' ultima applicazione del pendolo è stata recentemente trovata dal fisico francese Foucault.

Egli ha osservato che la direzione delle oscillazioni del pendolo non riman fissa rispetto agli oggetti terrestri, ma continuamente devia, talchè se prima andava dal Nord al Sud, dopo alquante ore oscillerà tra Est ed Ovest, e potrà anche percorrere tutta la rosa dei venti. La deviazione, dalla parte di mezzodì, si fa secondo il moto apparente del sole, cioè da Est ad Ovest.

Per concepire come ciò dipenda dal moto diurno della terra, si deve prima di tutto stabilire, che *la direzione dell'oscillazione d'un pendolo, o in altri termini, il piano di oscillazione di un pendolo, è invariabile nello spazio assoluto.* Ciò dipende dall'inerzia della materia, per la quale questa conserva la direzione una volta ricevuta, finchè altra forza non sopraggiunga.

L'invariabilità della direzione del pendolo sussiste ancora se il punto di sospensione vien condotto in giro con moto comune al pendolo e al corpo che lo sostiene: mentre quello muta il luogo assoluto, l'oscillazione resta sempre parallela a sè stessa. Si può ciò dimostrare con varie esperienze. Sopra una tavola rotonda, atta a girare in piano sul suo piede, pongasi un piccolo cavalletto, cui sia sospeso un pendolo: giri la tavola lentamente e senza scosse: si urti il pendolo, e si noti verso qual punto della stanza esso si dirige: si vedrà questa direzione restare invariabile rispetto alla stanza, benchè si muova il sostegno del pendolo: ciò accade anche quando il punto di sospensione non è concentrico alla tavola.

Si può anche far uso di un semplice apparecchio che dimostra lo stesso fatto con forse maggiore evidenza. Consiste in un piano *PB* (*Tav.* III, *Fig.* 67) capace di ruotare orizzontalmente sopra una tavola, intorno al punto fisso *P*, e sul medesimo stanno sospesi due pendoli *V* e *V'* formati di masse pesanti, sospesi a dei fili flessibili, uno dei quali in tempo di quiete corrisponde alla verticale *AV*, che si confonde coll'asse di rotazione, l'altro alla verticale *A' V'*, situata fuori di quest'asse, ma nel piano della retta *PB*. Se si fanno oscillare i due pendoli nella medesima direzione *PC*, osserveremo che fino a quando il piano *PB* resterà fermo, i piani di oscillazione de' due pendoli non cangeranno; tracceranno cioè costantemente la retta *PB*; ma se muoveremo il piano senza urti e senza scosse facendolo ruotare intorno al punto *P*, vedremo facilmente che le oscillazioni non si faranno più nello stesso piano, bensì in direzioni sempre parallele, cioè a dire che se in questo spostamento *PB* è passato in *PB'*, il pendolo in *P* marcherà sempre la direzione *PC*, mentre l'altro che dalla stazione *B* è venuto nell'altra *B'* segnerà la direzione *B' C* parallela alla prima. Si osserverebbe lo stesso in qualunque altra posizione di *PB*.

Stabilita così l'invariabilità della direzione dell'oscillazione del pendolo nello spazio assoluto, è chiaro che se vedremo la linea d'oscillazione del pendolo traslocarsi rispetto agli oggetti terrestri, dovremo concludere che tali oggetti girano in un colla terra. Questo è il nostro caso: il pendolo che cominciando ad

oscillare corrisponde a certi punti dell'orizzonte, dopo poco tempo non vi corrisponde più, e quindi seguita a deviare: da ciò si deduce che la terra si è mossa e gira attorno a sè stessa. Determinare il tempo in cui il piano d'oscillazione compirà un intero giro, è problema alquanto complicato, perchè la figura della terra non è piana, ma sferoidale. Suppongasi un osservatore nel polo ed un pendolo che oscilli in una linea diretta verso una data stella, oscillerà sempre verso quella; ma se la terra gira sotto il pendolo, essa linea muterà posto rispetto agli oggetti terrestri; e all'osservatore ignaro del proprio muoversi, parrà che il pendolo faccia un giro, mentre la terra fa una rivoluzione. Vedesi adunque chiaramente che sotto il polo il pendolo compirebbe il suo giro in 24 ore. Non così all'equatore. Poniamo un globo nella posizione della sfera retta, cioè in modo che i poli coincidano coll'orizzonte, e segnamo due cerchi paralleli e assai vicini di qua e di là dell'equatore; le porzioni dei meridiani compresi fra i due cerchi formeranno una zona di linee sensibilmente parallele fra loro, come sarebbero delle linee trasversali disegnate sul cerchio d'una ruota: se si situa un pendolo su questa zona mentre la sfera gira, quelle linee rimarranno tutte egualmente inclinate alla direzione del medesimo, nonostante il muoversi della sfera: così all'equatore, se una volta il pendolo coincide con una linea orizzontale resterà sempre parallelo a questa, benchè la terra giri. Noi siamo lungi dall'equatore e dai poli, perciò qui avremo un effetto medio tra il moto dei poli e la quiete dell'equatore.

Per trovare l'arco che deve descrivere il pendolo in un giorno, si ricorre alle seguenti considerazioni. Sia S (*Tav.* III, *Fig.* 68) una sfera munita del suo asse di rivoluzione PP', e si conduca una retta PB tangente a questa sfera in un punto intermedio fra il polo e l'equatore. Supponiamo che la sfera compia la sua rivoluzione intorno all'asse nello spazio di 24 ore, trascinando seco la tangente PB; è chiaro che questa descriverà un cono, il quale sviluppato in un piano sarà un settore di circolo, che fra i suoi raggi estremi comprenderà l'arco $B, B', B'' \dots B^n$, (*Tav.* III. *Fig.* 69) ed in PB, PB', PB'' avremo le successive posizioni della linea PB. Ora se noi sup-

poniamo che nel punto B della sfera fosse posto un pendolo, il quale al principio della sua rotazione oscillasse nella direzione PB, ci sarà evidente, per ciò che abbiamo premesso intorno all'invariabilità della direzione delle sue oscillazioni nello spazio assoluto, che nelle successive posizioni della tangente PB, il nostro pendolo avrà le direzioni $C'A'$, $C''A''$... ec., e nell'ultima P^nB^n, cioè a dire dopo 24 ore, che a cono chiuso corrisponde colla prima PB, sarà C^nA^n parallela sempre a CA. Nell' intiera rivoluzione della sfera, il piano di oscillazione del pendolo avrà descritto un arco AC^n A^n equivalente a $B^nB''....B$; avrà cioè fatto un angolo colla tangente PB eguale all'angolo del cono sviluppato.

Riferendo ora questo ragionamento alla terra, osserviamo che la linea PB altro non è che la linea meridiana del punto B, disegnata nel piano dell'orizzonte, prolungata fino all' incontro dell'asse del mondo; perciò egli è chiaro che per aver l'angolo che in un giorno descrive il pendolo in un dato punto del globo compreso fra il polo e l'equatore, converrà misurare l' arco compreso fra i raggi estremi del settore di circolo, che si ha sviluppando in piano il cono che la linea meridiana del luogo designata sul piano d'orizzonte, supposta prolungata fino all' incontro dell'asse del mondo, descrive in 24 ore, supposto che al principio del moto essa meridiana coincidesse colla direzione del pendolo (1).

(1) Tale è il valore geometrico dell'angolo di deviazione dal piano del pendolo nelle 24 ore, ed è facile dopo ciò assegnarne il valore numerico, stabilire cioè la formola algebrica che serve a calcolarlo per ogni latitudine. Infatti sappiamo che l'arco $BB'...B^n$ del cono sviluppato sta all' intiera circonferenza o a quattro retti, come il raggio BD della base del cono (*Tav.* III, *Fig.* 68), che è il parallelo, sta all'apotema PB. Abbiamo cioè, indicando con X la deviazione del pendolo corrispondente a un certo numero di ore, e con n l'arco di parallelo percorso in quelle date ore.

$$X : n = BD : PB$$

Ma abbiamo

$$1 : \text{sen } P = PB : BD,$$

e finalmente

$$\text{sen } P = \text{sen } BCE = \text{sen } L,$$

avendo indicato con L la latitudine del luogo, perciò

$$X : n = \text{sen } L : 1$$

quindi

$$X = n. \text{ sen } L.$$

Si trova così col calcolo che alla latitudine di Roma la deviazione del pendolo dalla prima direzione dev'essere di circa 10° per ogni ora, ond'essa deve compiere l'intiero giro in 36 ore circa, o più esattamente in 35 ore 50′ e 26″. A Londra dev'essere di circa 12° l'ora, e l'intiero giro vi si deve compiere in 30 ore.

L'esperienza ha confermato mirabilmente i resultati della teorica, sebbene l'angolo di deviazione sia sempre stato in effetto un poco minore; lo che deve attribuirsi alle inevitabili cagioni perturbatrici, e specialmente alla resistenza dell'aria. Affinchè l'esperienza riesca è necessario che il pendolo *oscilli* il più liberamente possibile; conviene perciò che il punto di sospensione del pendolo sia fissato con una pressione eguale in tutti i versi, affinchè non vi sia per questo lato nessuna tendenza a modificare la direzione del movimento oscillatorio; che il grave abbia un peso considerevole e sia sferico, come p. es. un globo di piombo o di ferro, affinchè incontri da pertutto la medesima resistenza nel mezzo ambiente; ed in fine che il filo sia metallico, cilindrico, lungo e sottile. Il pendolo deve poi esser posto in vibrazione bruciando uno spago che lo tenga prima di sperimentare lontano 35 o 40° dalla verticale, e ciò a fine di evitare qualunque spinta accidentale diversa dalla gravità e dalla rotazione del globo. Per verificare la deviazione basta avvitare una punta sotto il globo oscillante e disporre sotto la palla un cerchio graduato, il cui centro corrisponda al punto di sospensione, e che abbia tutto intorno un orlo di finissima cenere cui si dia la forma di argine acutissimo. La sommità di questo vien toccata e tagliata dall'ago posto sotto al pendolo, allorquando questo vi passa al di sopra, e la breccia che vi si forma dopo alquanto tempo indica la deviazione subita dal pendolo.

Il fenomeno descritto non era sfuggito alla perspicacia del Viviani, discepolo del Galileo, e degli altri accademici del Cimento, ma sembra che non ne scorgessero troppo chiara la cagione.

Dell'Attrazione molecolare.

Dicesi *attrazione molecolare*, la forza che sollecita le molecole di uno stesso corpo, o quelle di due corpi vicinissimi, a restare aderenti fra loro. Senza questa attrazione, le molecole dei corpi tenderebbero sempre a cedere alla forza di gravità e a disgiungersi. L'attrazione molecolare non deve confondersi coll'*attrazione di affinità o attrazione chimica.* Questa è la causa delle combinazioni dei corpi eterogenei, e non si esercita che nell'intimo contatto delle ultime particelle dei corpi, e il suo effetto non può esser distrutto da mezzi meccanici, ma bensì da agenti fisici, come il calore, l'elettricità, la luce. Ma lo studio de' fenomeni dell'affinità spetta alla chimica.

Non si conoscono le leggi alle quali l'attrazione molecolare è soggetta; si sa soltanto che questa forza non si manifesta se non quando le molecole sono a picciolissime distanze fra di loro, e che allora la sua intensità dipende dalla natura delle molecole, e che aumenta con grande rapidità, a misura che la distanza diminuisce.

Si distingue più particolarmente col nome di *Coesione* l'attrazione molecolare che riunisce le molecole omogenee di uno stesso corpo. Gli esempj di coesione ci cadono di continuo sotto gli occhi; ogni corpo, per la sua stessa permanenza, è un esempio di questo genere di attrazione. I suoi effetti variano d'intensità a seconda dei corpi. I solidi sono sempre, più o meno duri o tenaci; altri, come i liquidi, lo sono molto meno. Pertanto è la coesione che mantiene in una goccia di liquido posta su di un piano, la sua forma più o meno sferica, e che impedisce che le sue molecole cedendo all'azione della gravità, non si distendano sul piano in uno strato infinitamente sottile. Nei soli gas non si scorge alcuna traccia di coesione.

Gli effetti dell'attrazione molecolare non si manifestano soltanto fra le particelle di uno stesso corpo, ma si manifestano ancora fra quelle di due corpi diversi, le cui superfici trovansi a contatto. Se la superficie dei corpi fosse perfettamente

levigata ed eguale, allorquando si sovrapponessero due superfici piane, la forza con cui aderirebbero sarebbe difficile a vincersi. L'attrazione molecolare che si produce fra le particelle di due superfici diverse a contatto, prende comunemente il nome di *adesione*. Essa può manifestarsi fra solido e solido, fra solido e liquido, e fra liquido e liquido.

Si può rendere evidente l'adesione fra le molecole solide della stessa natura colle seguenti esperienze: se si prendono due palle di piombo, e dopo aver tolto a ciascuna di esse un segmento con un istrumento tagliente, si riuniscono colle faccie piane che si sono prodotte, facendole strisciare in modo da scacciare l'aria che potrebbe interporsi, le due palle esigono una forza di varj chilogrammi per essere separate. Può ripetersi la stessa esperienza con altre superfici, sia che si operi sopra altri metalli, sul marmo ec. Clement ha costatato il fatto che due cristalli ben levigati applicati l'uno sull'altro contraggono col tempo un'aderenza tale che riesce impossibile separarli.

L'adesione del ferro al sevo presenta un esempio rimarchevole di questo genere di attrazione. Pictet, applicò l'uno contro l'altro, per le loro basi, due cilindri di ferro di due pollici di diametro ciascuno, interponendovi uno strato di sevo della maggior possibile sottigliezza. I due cilindri aderirono con tanta forza che furono necessarie 1470 libbre francesi per separarli, essendo il termometro a zero.

Quando s'immerge un corpo nell'acqua, nello spirito di vino, nell'olio, o in qualunque altro liquido, noi lo vediamo uscire ordinariamente bagnato, in grazia dell'adesione nata fra le molecole superficiali del solido e le più prossime del liquido. L'attrazione molecolare fra liquidi e solidi, e quindi fra liquidi e liquidi può anche essere mostrata con un'apparecchio assai semplice. Consiste in una lastra di vetro sospesa al piatto inferiore di una bilancia, che tiensi in equilibrio con alcuni pesi posti nell'altro piatto. Se si fa toccare la faccia inferiore di questa lastra di vetro con dell'acqua situata in un vaso sottoposto, si osserva che per distaccarla è necessario aggiungere sull'altro piatto della bilancia un peso assai considerevole. La lastra, allorchè si distacca, trovasi coperta

di uno strato di acqua, onde l'adesione che si è vinta era tra acqua ed acqua.

Vi sono dei solidi che hanno adesione per certi liquidi e per altri no: così per es. il vetro si lascia bagnare dall'acqua e non dal mercurio; il ferro e l'acciajo non hanno nessuna aderenza pel mercurio, mentre l'oro e l'argento non possono immergersi in questo liquido senza poi estrarli intieramente ricoperti dal medesimo. Quando manca l'adesione di un liquido per un solido, non bisogna credere che in questo caso non si spieghi la forza di attrazione molecolare fra i due corpi, o che vi sia fra i medesimi repulsione. L'attrazione molecolare non può giammai mancare di agire; ma poichè è maggiore la forza di coesione delle molecole del liquido, di quella di adesione delle medesime pel solido, così la prima vince la seconda e il fenomeno di adesione non si manifesta.

L' adesione fra liquido e liquido manifestasi ancora nel porre a contatto delle gocciolette di mercurio, le quali tosto confondonsi per formare un sol globolo. Quando esiste adesione fra due liquidi di natura diversa, essi sono capaci di mescolarsi intimamente, come segue tra l' acqua e l' alcoole; se poi non esiste adesione fra di essi, quantunque si mescolino lungamente, sempre verranno a separarsi, come si osserva fra l'acqua e l'olio.

Anche i gas, benchè composti di particelle che si respingono mutuamente, manifestano non di meno fra loro una singolare attrazione molecolare. Se si riuniscono due palloni di vetro, per mezzo di un tubo che ne faccia comunicare l' interno, e sia l' uno ripieno di gas idrogeno, il più leggiero di tutti i gas, e l' altro di gas acido carbonico, che è invece uno dei più pesanti, e si dispone l' apparecchio in guisa che il pallone contenente l' idrogeno sia in alto, e quello contenente l' acido carbonico sia in basso, si osserva che dopo un certo tempo i due gas si sono mescolati intimamente, e in ciascuno dei palloni vi ha lo stesso miscuglio.

Ma i gas hanno anche una certa adesione pei solidi e pei liquidi. Quasi tutti i corpi solidi di natura porosa hanno la facoltà di assorbire una più o meno grande quantità di un gas qualunque. Il carbone possiede particolarmente questa

proprietà ad un alto grado. Un frammento di carbone arroventato e quindi raffreddato sotto il mercurio, è il più atto a tale assorbimento. Si pone sotto una campana piena di mercurio, e quindi si fa passare nella medesima una quantità conosciuta del gas che vuolsi assorbire, e si abbandona l'esperienza a sè stessa durante 24 ore; dopo di che si misura il volume del gas assorbito. Il De-Saussure determinò che una misura di carbone di bossolo assorbe:

90	misure di	gas ammoniaco
85	»	gas acido idroclorico
65	»	gas acido solforoso
35	»	idrogeno solforato
35	»	gas acido carbonico
9,25	»	ossigeno
7,50	»	azoto
1,75	»	idrogeno.

Tutti questi gas sono assorbiti con un debole svolgimento di calore, e possono tutti essere scacciati dal carbone che li ha assorbiti inalzandone la temperatura a circa 120°.

Per mostrare l'adesione che v'è fra i gas ed i liquidi, basta porre sotto la campana della macchina pneumatica, un vaso pieno di acqua, e fare il vuoto. Tosto vedesi un numero grandissimo di bolle d'aria formarsi sotto il liquido, tappezzare tutte le pareti del vaso e ingrossare sempre più a misura che la pressione diminuisce. Se nell'acqua s'immergono delle sottili lamine metalliche, come p. es. di oro battuto, il fenomeno è anche più rimarchevole, imperciocchè le bolle d'aria che formansi alla loro superficie, sia per la loro aderenza coll'acqua come anche per la lamina, più difficilmente si svolgono, e divengono sotto il liquido come tanti palloncini che si fanno salire e discendere secondo il grado di pressione.

Fenomeni di capillarità.

Le attrazioni molecolari che abbiamo esaminato, non solo fra i solidi ed i liquidi, ma anche fra i liquidi medesimi, danno luogo a fenomeni notevolissimi, detti *fenomeni capillari*,

perchè sono più appariscenti in tubi finissimi, di un diametro paragonabile a quello di un capello. In questi tubi non si verifica il fatto, che è conseguenza delle leggi di equilibrio dei liquidi, dell'inalzarsi del liquido nel loro interno allo stesso livello che il liquido esterno. Se s'immerge un tubo di vetro assai sottile nell'interno di una massa di acqua, si vede questo liquido sollevarsi molto al di sopra del livello del liquido in cui è immerso; se invece s'immerge nel mercurio, si vede questo abbassarsi al di sotto (*Tav.* III, *Fig.* 70 e 71).

L'attrazione capillare o *capillarità* non agisce solamente per inalzare o deprimere le piccole colonne liquide nell'interno dei tubi; essa esercitasi incessantemente nel contatto dei liquidi fra loro e dei solidi fra loro, e in generale nel contatto delle particelle le più tenui della materia ponderabile. Ecco le principali leggi di questi fenomeni.

Le lunghezze delle colonne sollevate o depresse sono in ragione inversa dei diametri dei tubi. È facile riconoscere coll'esperienza che in generale le differenze di livello sono tanto più grandi quanto sono più piccoli i diametri dei tubi. Basta costruire dei piccoli tubi ad *U*, come quelli della *Tav.* III, *Fig.* 72, che abbiano uno dei rami di un diametro doppio dell'altro, ed empirne uno di acqua e l'altro di mercurio. Nel primo si vedrà la colonna dell'acqua del ramo più sottile avere un'altezza doppia di quella dell'altro; nel ramo sottile del secondo invece avrà la metà di altezza. Non di meno Gay-Lussac ha stabilito questa legge fondamentale su delle esperienze molto più esatte.

Ogni qualvolta v'è ascensione in un tubo capillare assai stretto, la colonna liquida è terminata da una superficie concava, o per meglio dire da una semisfera vuota dello stesso diametro del tubo, la quale dicesi *Menisco concavo* (*Tav.* III, *Fig.* 73); al contrario quando v'è depressione la sommità della colonna prende la forma di un *Menisco convesso* (*Tav.* III, *Fig.* 74). Queste forme sono essenzialmente legate all'ascensione e alla depressione, giacchè se si spalma con un corpo grasso la superficie interna di un tubo di vetro, e che se ne immerge l'estremità nell'acqua colorata, si osserva che non

solamente l'acqua cessa d'inalzarsi al di sopra del livello, ma che resta depressa in questo tubo spalmato di grasso, e che nello stesso tempo la sommità della colonna prende la forma di menisco convesso, come fa il mercurio nei tubi ordinarj. Risulta da questa osservazione che le differenze di livello dipendono dalla forma del menisco, e quindi che tutte le cause accidentali che potrebbero impedire a questo di prendere la forma esatta che deve avere, impedirebbero anche per la stessa ragione al liquido di giungere all'altezza precisa nella quale deve trovare la stabilità del suo equilibrio.

Altezze differenti alle quali può arrestarsi lo stesso liquido nello stesso tubo. Quando un tubo ha servito ad una esperienza, se si ritira dal liquido con precauzione, si osserva che nel suo interno resta sospesa una piccola colonna di liquido. Questa colonna è sempre più grande di quella che si era sollevata durante la esperienza; per esempio *ab* (*Tav.* III, *Fig.* 75) essendo la colonna sollevata al di sopra del livello, mentre il tubo è immerso, la colonna che rimarrà sospesa quando sarà fuori del liquido potrà essere *cd* od anche *ef*. Questa differenza dipende dalla goccia che resta all'estremità inferiore del tubo, e che forma un menisco più o meno convesso. Infatti su delle pareti molto grosse sulle quali la goccia si allarga molto, questo eccesso di sollevamento è sempre minore; al contrario nei tubi a pareti sottilissime il menisco convesso della goccia, essendo presso a poco eguale al menisco concavo della sommità della colonna si osserva un eccesso di sollevamento quasi eguale al sollevamento stesso, cioè a dire che *ef* è doppio di *ab*.

I tubi ricurvi ad *u* presentano dei fenomeni analoghi, ed hanno anche il vantaggio di essere più comodi per queste esperienze. Nel tubo *s* (*Tav.* III, *Fig.* 76) il diametro del quale è uniforme, le sommità delle due colonne sono alla stessa altezza, fintantochè il liquido non raggiunge la sommità del ramo più corto; ma appena vi è giunto si può far colare del liquido nel ramo lungo, e produrre così un eccesso di altezza sempre crescente. A misura che il livello si solleva, il menisco del ramo corto perde a poco a poco la sua forma,

la sua concavità diminuisce, e tende a trasformarsi in superficie piana; e se si osserva il fenomeno con attenzione, è facile di riconoscere che nell'istante che ha raggiunto questo limite la differenza del livello *ab* è precisamente l'altezza alla quale s'alza il liquido in un tubo diritto dello stesso diametro del tubo ricurvo. Si può continuare a versare del liquido nel ramo lungo; allora la superficie piana che limita la colonna all'estremità del ramo corto diviene sempre più convessa, ed il livello può così salire fino ad un'altezza *cd* doppia di *ab*: in quel momento il menisco forma una semisfera; e se si versa ancora del liquido nell'altro ramo, la sua convessità scoppia, e la colonna ricade più o meno, secondo la più o meno grande convessità della goccia che resta. Questi fenomeni possono essere prodotti in senso inverso, mettendo prima nel lungo ramo del tubo ad *u* tutta la colonna che può essere sostenuta, e facendo uscire del liquido a poco a poco dalla sommità del ramo corto.

Tubi concentrici. Concepiamo un tubo che abbia per esempio 10 millimetri di diametro interno, nel quale sia posto un cilindro di vetro di 9 millimetri di diametro, in modo che il loro asse sia comune, e che resti intorno al cilindro uno spazio anulare di $\frac{1}{2}$ millimetro di grossezza. I fenomeni capillari si svilupperanno in questo spazio; e si trova coll'esperienza che la differenza di livello è la stessa di quella che sarebbe in un tubo di mezzo millimetro di raggio. Questo resultato essendo generale può esprimersi così: in uno spazio anulare di una grossezza qualunque, l'ascensione o la depressione è la stessa che in un tubo di cui il diametro fosse il doppio di questa grossezza.

Quando il cilindro interno è esso pure un tubo, i fenomeni si producono separatamente in questo tubo e nello spazio anulare, come se ciascuno di essi fosse solo. Così il diametro del tubo essendo precisamente doppio della grossezza anulare, le sommità delle due colonne sono allo stesso livello; se il tubo è più fine, la sommità della sua colonna è più alta se ha luogo un'ascensione, è più bassa se accade una depressione; accade il contrario quando il tubo è più largo. In quest'ultimo caso, se si versa del liquido fino a che il menisco anulare divenga convesso, la depressione si cangia subitamente in ascensione.

Lamine parallele. Lo spazio compreso fra due lamine parallele non è in certo modo che il limite dello spazio anulare di cui abbiamo parlato; dunque le altezze delle colonne sollevate o depresse devono seguire la stessa legge. È infatti ciò che l'esperienza dimostra; qualunque sia la distanza delle due lamine esse producono lo stesso effetto di un tubo cilindrico il cui diametro sia doppio di questa distanza.

Lamine inclinate. La *Fig.* 77, *Tav.* III, rappresenta due lamine inclinate, che incontransi secondo una linea verticale; esse sono unite per mezzo di due cerniere *c*, *c'*, e possono essere allontanate più o meno. Quando s'immergono nell'acqua, il liquido deve salire a delle altezze ineguali in *a* e in *b*, perchè le distanze corrispondenti delle lamine sono esse stesse ineguali, e le altezze sono fra le lamine, come nei tubi, in ragione inversa delle distanze. La sommità della colonna forma un iperbola equilatera, di cui gli asintoti sono, da un lato la comune intersezione delle lamine, e dall'altro il livello del liquido nel quale sono immerse. La *Figura* 78 rappresenta due lamine che sono nel modo stesso inclinate l'una sull'altra, ma esse tagliansi lungo una linea orizzontale, ed il piano geometrico che dividerebbe il loro angolo in due parti eguali può essere esso stesso orizzontale o più o meno obliquo all'orizzonte. Quando si pone fra queste lamine una goccia di acqua che le tocchi ambedue, si vede che nell'istante questa goccia si fa concava alle sue due estremità, ma le due superfici concave hanno una diversa curvatura; il raggio di curvatura del punto *n* è più piccolo che nel punto *n'*, e la goccia si muove avvicinandosi alla linea d'incontro delle due lastre. La sua velocità aumenta o diminuisce, secondo che l'angolo è più grande o più piccolo.

Tubi Conici. Gli stessi fenomeni che avvengono fra due lamine inclinate si riproducono nei tubi conici, colle stesse circostanze e per le stesse cause. La piccola colonna *n*, *n'* (*Tav.* III, *Fig.* 78) si precipita verso la sommità del cono o verso la sua base, secondo che è terminata da due menischi concavi o convessi; e nei due casi si può ritenere in una posizione fissa, inclinando convenientemente l'asse del cono in un senso o nell'altro.

Azione delle superfici sui liquidi. Ciò che precede ci mostra chiaramente che i solidi e i liquidi non possono toccarsi senza che la superficie mobile del liquido provi, nei punti di contatto, una deformazione più o meno rimarchevole. Le inflessioni della curvatura dipendono dalla forma dei corpi. V'ha sempre ascensione del liquido quando bagna la superficie, e depressione quando non la bagna. Le superfici concave e convesse che si formano nei tubi dipendono appunto dal sollevarsi o dal deprimersi dei liquidi presso le loro superfici. Le depressioni dei liquidi presso certe superfici solide, in grazia della capillarità, ci spiegano come avvenga che talvolta dei corpi assai più pesanti dell'acqua possano galleggiare su questo liquido. Il liquido deprimendosi sotto ai medesimi, vi lascia uno spazio pieno di aria, dimodochè acquistando essi un volume assai maggiore e un peso assai minore, divengono atti a sostenersi sulla superficie del liquido. Così accade a un ago da cucire, se è leggieramente spalmato di grasso. Mentre pel proprio peso dovrebbe affondare nell'acqua, vi galleggia invece, a motivo della depressione che si genera in questo liquido al di sotto di esso, per la niuna adesione tra la sua superficie e l'acqua. Quegl' insetti che camminano, o, per meglio dire, scorrono sulla superficie delle acque, sarebbero sommersi se un particolare trasudamento non impedisse che le loro zampe fossero bagnate dall' acqua.

Attrazioni e Repulsioni prodotte dalla capillarità. I corpi che sono immersi nei liquidi, e che galleggiano alla loro superficie presentano dei fenomeni d'attrazione e di repulsione assai rimarchevoli. Due palle di sughero posate sull' acqua e bagnate da questo liquido non esercitano alcuna azione l'una sull' altra quando sono ad una distanza un po' grande; ma quando si avvicinano ad una distanza capillare; cioè a dire a una distanza assai piccola perchè le superfici del liquido sollevato intorno ad esse se tocchino o s' incrocino, allora ha luogo un' attrazione molto viva. Due palle che non si bagnano, come due palle di cera galleggianti sull' acqua, o di ferro sul mercurio, esercitano pure un' attrazione nelle stesse circostanze. Infine due palle, una delle quali si bagna e l'altra no, si respingono sempre quando giungono a una distanza

capillare. Le lamine verticali presentano dei fenomeni analoghi. Si era creduto in principio che questi movimenti resultassero da un' azione diretta dalla materia, ma è evidente che dipendono dalle curvature delle superfici, poichè gli stessi corpi che si fuggono o che si attraggono sull' acqua, non esercitano alcun' azione a distanza eguale nel vuoto o nell'aria o in qualunque altro mezzo che li circondi da ogni lato. Queste alterazioni e repulsioni ci spiegano come avvenga che dei corpiciattoli galleggianti sull' acqua contenuta in un vaso, vanno talora a riunirsi tutti intorno alle pareti del medesimo, e talora invece riunisconsi nel centro. Nel primo caso tanto i corpi leggieri, come il vaso sono bagnati, ovvero non sono bagnati dall' acqua; nel secondo caso, mentre gli uni sono bagnati, l' altro non l'è, e viceversa.

Effetti diversi della Capillarità. La capillarità ha una parte importantissima in tutti i fenomeni relativi all'imbibizione e alla disseccazione, sia nei corpi inorganici che negli organici. le pietre le più compatte s'imbevono d'acqua, sia nel fondo dei fiumi, che nei terreni umidi, giacchè perdono di peso allorquando si lasciano in un aria sufficientemente calda e secca. I terreni coltivabili, s' imbevono e si disseccano con più o meno facilità a seconda della loro natura. I tipi estremi sono la sabbia e l'argilla. Nella sabbia, quando lo strato ha una sufficiente profondità, le pioggie le più abbondanti sono assorbite, e difficilmente scorrono sul suolo per dare origine a dei torrenti; nelle terre dure e argillose invece l'imbibizione è lenta; le pioggie dirotte sono dannose; il suolo è in breve sommerso, ricusa di assorbire, e le acque scolano se è in declive. Il disseccamento non si produce collo stesso ordine: la capillarità che permette alla sabbia una pronta imbibizione, le impedisce una pronta disseccazione: le acque risalgono a poco per volta, e lentamente si evaporano alla superficie. Il disseccamento delle terre dure, si fa pure collo stesso principio, ma con questa differenza, che i movimenti capillari dell'acqua vi sono incomparabilmente più lenti.

La pronta imbibizione delle materie porose, può facilmente osservarsi immergendo con una sua estremità un grosso pezzo

di zucchero in un liquido colorato: tosto vedesi questo ascendere con assai rapidità fino alla cima del medesimo.

L'ascendere dei liquidi si fa ancora molto facilmente per mezzo dei canali irregolari, che lasciano fra loro le fibre delle materie filamentose, come, il cotone, il lino, la canapa, la lana ec. ec. È in questa guisa che l'olio ascende nei lucignoli, ed alimenta di continuo la fiamma.

Hales ha provato con alcune esperienze, che le azioni capillari intervengono nel sollevamento dei sughi nei vegetabili. Basta tagliare il ramo di una pianta, legarlo nel punto del taglio a un tubo di vetro, ricuoprendo l'unione con molti doppi di vessica umida fortemente stretta sul tubo e sul ramo, empire il tubo di acqua, e quindi rovesciarlo portandolo a pescare sotto il mercurio. Dopo un certo tempo vedesi salire la colonna del mercurio, e rimanere per del tempo sospesa nel tubo. Alcuni fisiologi ammettevano che il fenomeno dell'assorbimento delle piante dipendesse unicamente dalla forza vitale, ma l'erroncità di questa opinione è provata dal fatto che anche i tronchi da molto tempo tagliati, sono capaci di assorbire l'acqua e moltissimi altri liquidi ancora. Su questa proprietà è fondata un'importante applicazione, cioè la conservazione del legno mediante l'assorbimento di una soluzione di pirolignito di ferro. Essa è dovuta al Boucherie; il quale ha immaginato diversi metodi per giungere al suo intento. Uno di questi consiste nell'immergere appena tagliato un tronco d'albero provvisto de'suoi rami e delle sue foglie nella rammentata soluzione. In questo caso l'assorbimento è favorito dalla continua evaporazione che si effettua per mezzo delle foglie. Un altro metodo consiste nel tagliare dei tronchi d'albero di due a quattro metri di lunghezza, immergerli con una base nel vaso contenente la soluzione, mentre l'altra base s'introduce in un vaso di ghisa, in cui si rarefà l'aria colla combustione di un po'di stoppa impregnata di alcool. Ripetendo due o tre volte l'operazione si costringe il liquido, a traversare tutto il tronco dell'albero, in grazia della pressione atmosferica.

Cenni relativi alla teoria dei fenomeni capillari. La teoria della capillarità è una delle più difficili della fisica; e non può

esser trattata completamente se non col soccorso dell'analisi matematica. Essa fu studiata specialmente dai celebri Laplace e Poisson, e rende conto non solo dell'inalzamento dei liquidi nei tubi, ma ben anco delle attrazioni e repulsioni che si osservano fra i corpi galleggianti. Noi ci limiteremo ad alcune indicazioni teoriche relative alla curvatura delle superfici liquide al contatto dei corpi, e all' influenza della medesima sull'inalzamento o la depressione dei liquidi nei tubi capillari.

La forma della superficie di un liquido al contatto di un corpo solido dipende dal rapporto che passa fra l'attrazione del solido sul liquido, e l'attrazione delle molecole liquide fra loro. Infatti s'immagini una molecola *m* (*Tav.* III, *Fig.* 79) in contatto di un corpo solido. Questa molecola è sottoposta all'azione di tre forze: la gravità che la sollecita secondo la verticale *mP*, l'attrazione del liquido che agisce nella direzione *MF*, e l'attrazione della lamina che si esercita nella direzione *mn*. Ora secondo le intensità respettive di queste tre forze, la loro resultante può prendere le tre posizioni seguenti.

1.° Questa resultante può esser diretta secondo la verticale *mR* (*Fig.* 79); allora la superficie in *m* è piana e orizzontale, perchè per le condizioni di equilibrio dei liquidi, che in breve avremo luogo di studiare, la loro superficie deve esser perpendicolare alla direzione della forza che sollecita le loro molecole.

2.° Aumentando la forza *n*, o diminuendo *F*, la resultante *R* si dirige entro l'angolo *nmP* (*Fig.* 80); in questo caso la superficie assume una direzione inclinata perpendicolare a *mR*, e diviene concava.

3.° Se aumenta la forza *F*, o diminuisce la forza *n*, la resultante *R* prende la direzione *mR* (*Fig.* 81), entro l'angolo *FmP*, e la superficie disponendosi perpendicolarmente a questa direzione, diventa convessa.

Col calcolo si dimostra che nel primo caso, l'attrazione del liquido sopra sè stesso è doppia di quella del solido sul liquido; nel secondo caso, l'attrazione del liquido è minore del doppio di quella del solido; nel terzo essa è maggiore.

Vediamo ora come l'inalzamento o la depressione di un liquido in un tubo capillare dipenda dalla forma concava o

convessa del menisco. Se si considera un menisco concavo *ab cd* (*Tav.* III, *Fig.* 82), le molecole liquide di questo menisco, sostenute in equilibrio dalle forze che le sollecitano, non esercitano alcuna pressione sugli strati inferiori; inoltre, in virtù dell'attrazione molecolare, esse agiscono sugli strati inferiori più vicini, onde ne resulta che sopra uno strato qualunque *mn*, considerato nell'interno del tubo, la pressione è minore di quanto sarebbe senza il menisco. Per conseguenza onde si stabilisca l'equilibrio, il liquido deve elevarsi nel tubo fino a tanto che la pressione interna sullo strato *mn* sia eguale alla pressione dovuta ad *op*, che si esercita esternamente sopra un punto qualunque *p* del medesimo strato. Nel caso in cui il menisco sia convesso (*Fig.* 82), l'equilibrio sussiste ancora per effetto delle forze molecolari che sollecitano il liquido; ma le molecole inferiori non risentono l'attrazione che sarebbe esercitata da quelle che occuperebbero lo spazio *ghiK*, ove mancasse l'azione capillare. Perciò ne resulta che la pressione sopra uno strato qualunque *mn*, è maggiore nell'interno del tubo di quello che sarebbe quando lo spazio *ghiK*, fosse riempito, perchè le forze molecolari di cui si tratta sono molto più intense della gravità. Quindi il liquido deve abbassarsi nel tubo fino a tanto che la pressione interna, sullo strato *mn*, sia la stessa che in un punto qualunque di questo strato.

Dell'Endosmosi. I fenomeni d'endosmosi scoperti da Dutrochet si legano a quelli della capillarità e dell'imbibizione, e meritano di fissare l'attenzione dei fisici. Per farne meglio intendere il principio, noi descriveremo prima l'istrumento per mezzo del quale si possono rendere sensibili. Questo istrumento è l'*Endosmometro di Dutrochet.* Si compone di un tubo *a* (*Tav.* III, *Fig.* 83), di un largo vaso *B* e di un tramezzo *cd.* Il tubo è di vetro, può avere varj decimetri di lunghezza ed alcuni millimetri di diametro interno: il serbatojo può ricevere diverse forme ed essere di vetro o di metallo; nel primo caso si salda al tubo, ovvero vi si adatta questo per mezzo di un tappo sul collo del recipiente; nel secondo caso si possono saldare insieme con un mastice conveniente; il tramezzo è formato della sostanza solida ed essenzialmente porosa di cui

si vogliono studiare le proprietà: esso deve chiudere l'apertura del serbatojo con tale esattezza che il liquido non possa entrare ed uscire senza traversarla. Ecco i fenomeni che osservansi quando per es. questo tramezzo è una membrana di vessica fortemente legata sui margini del recipiente, e quando v'ha dell'alcool nell'interno e all'esterno dell'acqua. Sia *n* il livello dell'acqua nel vaso ed *n'* il livello dell'alcool nello istrumento; dopo un quarto d'ora vi sarà un cambiamento considerevole; il livello *n'* si sarà sollevato di varj millimetri, continuerà poi a sollevarsi, e se il tubo ha solo quattro o cinque decimetri di altezza, accadrà che dopo un giorno il liquido sarà giunto alla sommità e colerà sui margini.

Questo fenomeno così sorprendente non può essere attribuito nè alla capillarità ordinaria, giacchè essa sarebbe appena capace di mantenere l'alcool qualche centimetro al di sopra del livello esterno, nè a una diminuzione nella capacità del serbatojo per la contrazione della vessica, giacchè invece essa trovasi gonfiata. Infine l'acqua ha filtrato attraverso i pori della vessica, giacchè si ritrova nell'alcool, e si è infiltrata ad onta della pressione che tendeva a spingerla in senso contrario, e che tendeva anche a deprimere l'alcool per ricondurlo presso a poco al livello esterno *n*. Quest'azione fra questi due liquidi di natura diversa dicesi *Endosmosi*, la quale adunque significa un'infiltrazione in senso contrario delle pressioni idrostatiche.

Se si fa l'espèrienza in senso inverso, mettendo l'acqua al di dentro e l'alcool al di fuori, si osserva che il livello interno dell'acqua si abbassa al di sotto del livello libero dell'alcool. Anche in questo caso v'ha endosmosi dell'acqua all'alcool. Dutrochet ha osservato:

1.° Che v'ha endosmosi dell'acqua all'acqua gommosa, all'acido acetico, all'acido nitrico, e specialmente all'acido idroclorico, ma non fra l'acqua e l'acqua acidulata con acido solforico;

2.° Che diverse membrane vegetabili e animali godono in diverso grado della proprietà di cui gode la vessica; che delle lastre di terra cotta, d'ardesia calcinata, d'argilla, ed in gene-

rale di sostanze alluminose ne godono pure, benchè ad un grado debolissimo.

Le forze capillari, quali sono state considerate fino ad oggi, sono certamente insufficienti a produrre questi resultati, giacchè esse possono benissimo sollevare un liquido al di sopra del suo livello; ma non possono mai farlo uscire dal tubo o dal canale che lo contiene. Così quando s' immerge nell'acqua l' estremità inferiore di un tubo di vetro un po'grosso, avente p. e. 10 millimetri di lunghezza ed un millimetro di diametro interno, il liquido si solleva fino in cima, poichè salirebbe fino ai 30 millimetri di altezza; ma giunto là si ferma e conserva una curvatura di cui tutta la concavità è al di sotto del piano che termina il tubo. Perciò bisogna concludere che regna ancora una grande oscurità intorno alla causa di questo singolare fenomeno. Nelle funzioni organiche di nutrizione, hanno al certo molta parte i fenomeni di endosmosi.

Differente stato della materia.

V'ha in natura una forza di cui l'effetto è contrario a quello dell' attrazione molecolare. È questa la forza repulsiva del calorico. Ogni corpo quando vien riscaldato si dilata, vale a dire aumenta di volume. Una palla di rame riscaldata non passa più per lo stesso anello attraverso al quale passava mentre era fredda. Se s' immerge nell' acqua calda un tubo di vetro terminato in una sfera vuota, la quale contenga, come anche un certo tratto del tubo, un liquido colorato, si vede questo dilatarsi e salire lungo il tubo. Se si prende un tubo di vetro fatto ad *U* terminato da due globi pure di vetro, perfettamente chiuso e pieno di aria, il quale nel mezzo della sua parte orizzontale contenga una colonna di liquido colorato, e con una mano si riscalda una delle palle, si vede il liquido spinto verso l' altra palla dalla dilatazione dell' aria prodotta dal riscaldamento. In tutti questi casi il calore agisce, allontanando fra loro le molecole dei corpi riscaldati, le quali erano tenute vicine dall' attrazione molecolare. Il calore agisce adunque come una forza repulsi-

va, come un fluido di cui le molecole, di una estrema tenuità, si respingono mutuamente, ed agiscono sulle molecole dei corpi allontanandole le une dalle altre. Ma il calorico oltre il dilatare i corpi, produce anche l'effetto di far loro cangiare di stato. Noi sappiamo difatto che il ghiaccio, lo zolfo, il piombo ec. riscaldati, lasciano lo stato solido per divenir liquidi, che l'acqua e tutti i liquidi riscaldati più o meno prendono lo stato vaporoso o aeriforme. I liquidi occupano sempre un volume maggiore dei solidi da cui provengono, ed i vapori ne occupano uno infinitamente più grande di quello dei liquidi che li hanno prodotti, onde è evidente che la cagione di questi cambiamenti di stato è pure riposta nella forza repulsiva del calorico. Si ammette in generale dai fisici che i corpi sieno composti di molecole distanti le une dalle altre e circondate da un'atmosfera di calorico, le cui parti si respingano fra loro, e sieno invece attratte dalle molecole ponderali. Quindi nei corpi agiscono contemporaneamente le seguenti forze: 1.° l'attrazione delle molecole ponderali; 2.° la forza repulsiva del calore; 3.° la forza d'attrazione delle molecole ponderali pel calore. Dall'esistenza simultanea delle prime due dipendono necessariamente i tre stati diversi che i corpi possono prendere. Dalla terza dipende la proprietà che hanno i corpi di assorbire il calore, e quindi di dilatarsi e di cambiare stato, quando sono posti in vicinanza di una sorgente calorifica.

Nei corpi solidi l'attrazione molecolare supera la forza repulsiva del calore e tutte le altre forze che agiscono simultaneamente sulle loro molecole, e però le loro molecole sono immobili le une rispetto alle altre, e le loro forme sono indipendenti dalla loro posizione e dalle altre condizioni in cui si trovano. Tal proprietà contrassegna così bene questo stato della materia, che basta a distinguerlo dagli altri due. Laonde quando si dice che tal corpo ha la forma di cilindro, tale altro di cubo, di sfera ec., s'intende che queste figure non possono appartenere che ad un corpo solido. Nei liquidi l'effetto del calorico e dell'attrazione molecolare si bilanciano, onde avviene che le loro molecole sieno dotate di libero movimento e cangino la loro posizione relativa ad ogni urto e

ad ogni causa che ne disturbi lo stato di quiete. Quindi è che i liquidi non hanno forme dipendenti soltanto dal modo di riunione delle molecole che li compongono, ma obbediscono alla gravità, sicchè si modellano sulla forma dei vasi che li contengono, e prendono una superficie piana e parallela all'orizzonte.

Nei corpi aeriformi la repulsione del calorico vince l'effetto dell'attrazione molecolare e della gravità. Le loro molecole si allontanano incessantemente fra loro, per cui essi tendono di continuo ad aumentare di volume, ed esercitano uno sforzo incessante contro gli ostacoli che si oppongono per ritenerli. Dopo ciò s' intende facilmente come l' aggiunta del calorico ad un corpo possa farlo successivamente passare dallo stato solido al liquido e quindi all' aeriforme.

Proprietà dello stato solido.

Le proprietà che ci accingiamo a studiare dipendono in generale da certe modificazioni d'attrazione che influiscono sulla disposizione delle molecole dei corpi. Queste proprietà non sono generali: esse appartengono a certi corpi e non ad altri: spesso ancora varj corpi possono esser provvisti di alcune di esse allorquando trovansi situati in particolari circostanze, e possono perderle quando queste circostanze non si danno più. Tali proprietà sono le seguenti: la *Cristallizzazione*, l'*Elasticità*, la *Malleabilità*, la *Duttilità*, la *Tenacità* e la *Durezza*.

Della cristallizzazione. Si trovano in natura molti corpi i quali presentano delle figure regolari e simmetriche, il cui solo aspetto annunzia l'azione di una causa sottoposta a delle leggi fisse e determinate. Questi corpi diconsi *cristalli*; sono sempre terminati da superfici piane, ed hanno una grande analogia coi solidi della geometria. Così per esempio il solfuro di ferro, o pirite marziale, si presenta sotto la forma di cubi o di dodecaedri a facce pentagone, il carbonato di calce sotto moltissime forme diverse, fra le quali la più comune è quella di parallelepipedo obliquangolo o romboide. Tra le forme geome-

triche dei corpi cristallizzati alcune diconsi primarie, altre secondarie. Dicesi che un cristallo è dotato di forma primaria, quando presenta la stessa forma delle molecole da cui è costituito, e che conseguentemente non presenta nelle più piccole particelle in cui può esser diviso, una forma diversa da quella dell'intiero cristallo. Si dice invece, che è di forma secondaria quel cristallo che presenta una forma diversa da quella delle particelle in cui può dividersi, la quale è dovuta al modo particolare di aggregazione delle sue molecole dotate di forma primitiva. Onde un corpo possa presentarsi sotto forma cristallina è necessario che sia stato primitivamente liquido o gassoso. Un corpo può quindi cristallizzare per fusione, per dissoluzione e per sublimazione. I metalli, come per esempio il bismuto, cristallizzano per fusione; i sali ordinariamente per dissoluzione, come il nitro e l'allume; certi corpi volatili come l'iodio, l'arsenico, la canfora, l'acido benzoico, per sublimazione, cioè a dire colla lenta evaporazione, in guisa che i vapori lentamente raffreddandosi vengano a concretarsi sotto forme regolari. Lo studio profondo delle forme cristalline dei corpi, e del modo di ottenerle spetta alla mineralogia ed alla chimica.

Elasticità. L'elasticità è quella proprietà dei corpi solidi di riprendere la loro forma allorchè è cessata la forza che l'aveva alterata, in seguito di un movimento da questa comunicato a tutte le molecole di cui sono formati. Il ritorno alla posizione primitiva si fa ordinariamente con un seguito di oscillazioni più o meno numerose intorno a questa stessa posizione. Così una lamina di acciajo fissa in un modo invariabile con una delle sue estremità, incurvata che sia e abbandonata a sè stessa, ritorna nella sua posizione primitiva, che oltrepassa per la velocità acquistata, per tornarvi poscia, facendo intorno di essa delle oscillazioni simili a quelle di un pendolo che è stato allontanato dalla sua posizione di equilibrio. È evidente che in questa esperienza, le molecole sono state allontanate dalla loro posizione di equilibrio, e che è la forza colla quale tendono a ritornarvi, che produce l'elasticità della massa.

Il cambiamento di forma dei corpi necessario allo sviluppo della elasticità manifestasi in un modo evidentissimo nelle lamine e nelle verghe metalliche; ma vi sono delle circostanze nelle quali questo cambiamento non si scorge. Per esempio quando una palla d'avorio cade sopra un piano di marmo, essa risale quasi all'altezza del punto di partenza, il che indica una grandissima elasticità nella palla; ma non v'ha nulla che mostri il cambiamento di forma che ha dovuto subire onde si sviluppasse in essa l'elasticità. Per altro possiamo coll'esperienza dimostrare che la palla ha realmente cambiato di forma, e che si è schiacciata; basta ricuoprire il piano di marmo su cui si fa cadere la palla di un leggiero strato d'olio macinato con nero di fumo. Si osserva allora sulla palla una macchia circolare di nero di fumo di un diametro assai considerevole, la quale non avrebbe potuto formarsi se la palla in grazia dell'urto non si fosse schiacciata. Le forze che sviluppano l'elasticità sono quelle che determinano l'equilibrio molecolare dei solidi. Se due molecole si allontanano o si avvicinano fra loro, cesserà tosto lo stato di equilibrio in cui si trovano; esse tenderanno a riprenderlo, e daranno origine ad un movimento che sarà cagione della elasticità. È chiaro che la velocità di questo movimento e quindi la intensità della elasticità dipenderanno dalle quantità di allontanamento o di ravvicinamento che si faranno subire alle molecole dei corpi. Appartiene ad ogni solido l'elasticità in un grado diverso, e v'è per ognuno un limite di elasticità che misura la quantità delle variazioni che può subire senza cessare di essere elastico. Sembra che al di là di questo limite le molecole essendo più prossime ad una nuova posizione di equilibrio che alla prima, prendano quella, e la massa non possa quindi riprendere la sua forma primitiva. Così sotto certe pressioni i metalli non possono riprendere la forma primitiva, e si addensano acquistandone una nuova. È su questo fatto che è fondata l'arte di coniare le monete e le medaglie.

Vedremo fra breve che nei liquidi e nei gas questo limite di elasticità non esiste; vale a dire che questi corpi sono perfettamente elastici, e riprendono sempre il volume primitivo

tosto che la pressione ritorna al valore primitivo, e ciò per qualsiasi pressione.

Si giunge nelle arti a produrre in certi corpi una grandissima elasticità per mezzo di un cambiamento brusco di temperatura. Così l'acciajo riscaldato ad una temperatura più o meno alta, e raffreddato bruscamente coll'immersione nell'acqua o in un altro liquido, diviene duro, elastico e fragile. Acquista queste nuove proprietà a un grado tanto più alto, quanto più considerevole e pronto è stato l'abbassamento di temperatura. Questa operazione porta il nome di *tempra.* Si toglie all'acciajo l'acquistata elasticità facendolo scaldare alla stessa temperatura e lasciandolo lentamente raffreddare. È difficile di rendersi conto di questo subitaneo sviluppo d'elasticità pel solo effetto della tempra e della disparizione di questa proprietà col ricuocimento. Ecco pertanto da qual cangiamento sembra dipendere l'acquistata elasticità. L'acciajo immerso subitamente nell'acqua si raffredda prima alla sua superficie: questo raffreddamento avendo luogo prima che gli strati interni sieno tornati all'ordinaria temperatura, ne avviene che la crosta esterna solida che tosto si forma, impedisce alle molecole interne di ravvicinarsi, come avrebbero fatto se l'abbassamento di temperatura avesse avuto luogo gradatamente; la massa interna mantiensi adunque in uno stato di dilatazione forzata, e alla medesima pare debba attribuirsi l'acquistata elasticità. L'osservazione mostra difatto che l'acciajo per un brusco raffreddamento conserva un maggior volume che per un lento raffreddamento, e conseguentemente siffatta dilatazione forzata ha luogo realmente. Dopo ciò non si sa come avvenga che la lega di rame e stagno, che serve a costruire i cembali, acquisti invece grandissima durezza ed elasticità col lento raffreddarsi.

Il vetro acquista anch'esso colla tempra una grandissima durezza; ma ciò che è rimarchevole nel vetro bruscamente raffreddato si è, che la dilatazione forzata delle molecole interne è solo mantenuta dalla resistenza simultanea di tutti i punti dell'invoglio, giacchè se una porzione della crosta esterna è distrutta, il corpo si rompe con esplosione. Ciò può facilmente verificarsi su quei piccoli frammenti di vetro che

distinguonsi col nome di *lacrime bataviche*, le quali formansi lasciando cadere delle gocce di vetro fuso nell'acqua fredda. Quando si rompe l'estremità del filo di vetro che le termina, esse riduconsi immediatamente in polvere. Onde evitare questa grande fragilità del vetro bruscamente raffreddato, s'introducono gli oggetti di vetro appena fabbricati in un forno molto allungato, un'estremità del quale, comunicando col forno in cui il vetro trovasi in fusione, è ad un'altissima temperatura, e l'altra estremità, comunicando coll'aria per mezzo di una larga apertura, è presso a poco alla ordinaria temperatura. Gli oggetti lavorati sono posti nella parte più calda del forno, e quindi lentamente ritirati verso l'altra estremità: il raffreddamento si effettua allora gradatamente ed in varie ore, ed il vetro perde una gran parte della sua fragilità.

Molti metalli acquistano ancora della durezza e della elasticità percuotendoli a freddo, o facendoli passare alla filiera o al laminatojo. Si dice allora che si sono *incruditi*. Per toglier loro la crudezza acquistata si è obbligati di farli scaldare a rosso e di lasciarli lentamente raffreddare. Il ferro, il rame, il platino e varj altri sono in questo caso. È importante osservare che l'effetto dell'incrudimento per mezzo del martellamento, del laminatojo e della filiera, è di aumentare la densità del corpo, e di avvicinare le molecole, mentre che nella tempra si produce un effetto contrario, perchè il corpo aumenta di volume. Sembra adunque che le variazioni d'elasticità di uno stesso corpo provengano da una modificazione nella disposizione dei gruppi di molecole, fra i quali si suppone che si determini la stabilità d'equilibrio.

Lo sviluppo dell'elasticità di un corpo dipende non solo dalla elasticità propria della materia che lo costituisce, ma ancora dalla sua forma, dalla posizione dei punti fissi e del punto d'applicazione della forza, e dalla direzione di questa. Se ne concepirà facilmente la ragione osservando che la flessione che si può far provare ad un corpo senza alterarne la forma in un modo permanente e senza romperlo, cioè a dire senza allontanarne le molecole al di là del limite d'elasticità, è tanto più grande quanto più grande è la distanza del punto di applicazione della forza dai punti fissi, e quanto più pic-

cole sono le dimensioni del corpo parallele alla direzione della forza, relativamente alle altre. Perciò le lastre sono più flessibili delle masse della stessa lunghezza e larghezza, e le lamine molto lunghe ed i fili sono anche più elastici.

Elasticità dei fili e delle lamine tese nel senso della loro lunghezza. Sgravesande ha fatto delle numerose esperienze su questo soggetto. Prima di parlare dei resultati ai quali è giunto descriveremo sommariamente il modo di esperimentare da esso impiegato. I fili e le lamine erano tesi orizzontalmente fra due morse *a* e *b* (*Tav.* III. *Fig.* 84); una lamina sottilissima di rame *mn* traversata da un foro, attraverso il quale passava il filo, portava inferiormente un bacino che si caricava di varj pesi, e superiormente una corda avvolta sopra una puleggia fissa *R*, e sostenente alla sua estremità un peso *P*, destinato a fare equilibrio alla lastra ed al piatto vuoto. La puleggia portava un lungo ago *RL*, equilibrato dal suo prolungamento *FR*; l'ago percorreva un cerchio diviso fisso. In grazia di questa disposizione, il più piccolo abbassamento del filo orizzontale diveniva sensibile. Sgravesande avea prima determinato il rapporto della distanza o freccia *Cc* a un grado del cerchio. Caricando il bacino di pesi, il filo o la lamina *ACB* prendeva la forma della linea spezzata *AcB*, nella quale il punto *c* era al mezzo della lunghezza, e in cui le due parti *Ac* e *cB* subivano tensioni eguali. Mettendo nella bilancia diversi pesi, l'arco che descrive l'ago indica la distanza o saetta *Cc*, da cui si deduce l'allungamento del filo. Sgravesande dedusse da queste esperienze questa legge importante: che quando un filo è tirato nel senso della sua lunghezza da dei pesi assai piccoli, e tali che soppressi il filo ritorna alla sua lunghezza primitiva, l'allungamento del filo è proporzionale al peso, qualunque sia la tensione primitiva. Sgravesande deduce da questa legge un resultato importante, ed è: che in ogni corpo che riprende per elasticità la sua posizione primitiva, la forza che si sviluppa per la subita variazione di lunghezza è proporzionale a questa variazione. Per questa forza oscilla intorno alla sua posizione di equilibrio, e queste oscillazioni sono isocrone. L'isocronismo di queste oscillazioni dipende

da ciò che ad ogni istante la forza è proporzionale all' allontanamento. La diminuzione di ampiezza che si osserva successivamente in queste oscillazioni, e per cui si estingue il movimento, avviene anche nel vuoto, e prova che deve attribuirsi non solo alla resistenza dell'aria, ma anche al movimento comunicato ai corpi che sostengono il filo.

Elasticità dei fili sviluppata colla torsione. Coulomb ha fatto su questo soggetto numerose ricerche; noi descriveremo i principali resultati ai quali è giunto, e la bilancia che porta il nome di questo fisico. Sia *AB* (*Tav.* III, *Fig.* 85) un filo metallico sospeso alla sua estremità *A* e teso da un peso *P*. Al di sotto di questo peso sia un ago *CD*, l'estremità del quale percorra il cerchio diviso e fisso *MN*. Se facciamo girare il corpo *P* su sè stesso, in modo che il filo resti sempre nella stessa verticale, e se quindi abbandoniamo il peso a sè stesso, le particelle del filo spostate dalla torsione, tenderanno a ritornare alle loro posizioni primitive, trascinando il peso *P* e l'ago *BC*; ma poichè esse giungeranno alla loro posizione primitiva con una velocità acquistata, esse la oltrepasseranno e faranno intorno a questa posizione una serie di oscillazioni le cui ampiezze anderanno continuamente decrescendo.

Coulomb ha riconosciuto in questi movimenti le leggi seguenti:

1.° La forza necessaria per mantenere avvolto il filo, la quale forza dicesi di *Torsione*, è proporzionale all'angolo di torsione, e per uno stesso corpo, le oscillazioni sono isocrone.

2.° Per una medesima forza di torsione e per fili del medesimo diametro, l'angolo di torsione è proporzionale alla lunghezza dei fili.

3.° Per una medesima forza e per una medesima lunghezza dei fili, l'angolo di torsione è inversamente proporzionale alla quarta potenza dei diametri.

Sopra questi principj Coulomb ha fondato la Bilancia di torsione, che è uno dei più esatti istrumenti che si posseggano per misurare le deboli forze d'attrazione e di repulsione. Essa è essenzialmente composta di un filo metallico (*Tav.* III, *Fig.* 86) *ab*,

la cui estremità superiore è fissa in una pinzetta, e la cui estremità inferiore sopporta un piccolo peso, traversato da un ago orizzontale leggerissimo, la natura del quale varia a seconda delle forze che si vogliono misurare. Affinchè i movimenti non sieno turbati dall' agitazione dell'aria, l'ago è racchiuso in una campana di cristallo quadra o cilindrica, sulla superficie della quale trovasi una scala, le cui divisioni corrispondono ai gradi circolari. Il filo è pure racchiuso in un cilindro vuoto, nella parte superiore del quale trovasi un quadrante diviso, fisso sul cilindro. La pinzetta che sostiene il filo prolungasi attraverso il quadrante e termina con un ago orizzontale che percorre il quadrante, e che serve a misurare la torsione che si dà al filo dalla parte superiore. Quando si vogliono misurare delle picciolissime forze, si prendono dei fili lunghi e fini di sostanze molto elastiche, giacchè la forza di torsione è in ragione inversa delle lunghezze, e proporzionale alla quarta potenza dei diametri. La parte superiore della campana è guarnita di un orifizio *m*, dal quale s'introduce il corpo, il quale agendo per attrazione o per repulsione sulla leva orizzontale, la devia dalla sua direzione, di una quantità, che può rendersi costante o variabile, secondo una certa legge, torcendo il filo dalla parte superiore. La distanza dei corpi che agiscono, e la torsione del filo, che si compone della deviazione dell'ago e della torsione esercitata nella parte superiore, conducono facilmente, come vedremo in seguito, alla determinazione del rapporto delle forze che si manifestano in differenti circostanze, tra la leva ed il corpo introdotto nella bilancia.

Influenza dell'elasticità nell'urto dei corpi. Abbiamo già osservato che allorquando due corpi assolutamente duri vengono ad urtarsi, essi rimangono a contatto e proseguono a muoversi con una quantità di movimento eguale alla somma o alla differenza di quella quantità da cui erano spinti prima dell'urto; cioè eguale alla somma se i movimenti erano nel medesimo senso, alla differenza se erano in senso contrario. Ma nei corpi elastici non succede lo stesso. Al primo istante dell'urto comprimonsi, e non cessa la pressione finchè le velocità non si sono egualmente distribuite nelle due masse. Ma appena è ces-

sata la pressione, la forza elastica si sviluppa in ambedue i corpi, e, nel ridonar loro la primitiva forma, restituisce ai medesimi, in senso contrario, un grado di velocità proporzionale alla compressione sofferta, cioè a dire la velocità perduta nella compressione. Infatti lasciando cadere dall'alto, per la sola forza di gravità, sopra un piano di materia dura un corpo eminentemente elastico, esso rimbalzando risale alla stessa altezza da cui è caduto, perchè la velocità restituitagli dall'elasticità eguaglia quella che gli aveva impresso l'azione della gravità.

Supponiamo adesso di avere due corpi elastici sferici *A* e *B* (*Tav.* III, *Fig.* 87); due bilie per es., i quali muovansi ambedue sulla stessa linea retta *CD* nella direzione indicata dalla freccia. Affinchè i due corpi possano urtarsi fa d'uopo che la velocità del corpo *A*, che è indietro, sia maggiore di quella dell'altro. Tosto che il corpo *A* avrà raggiunto il corpo *B*, esso tenderà a farlo muovere con maggior velocità; ma l'accelerazione del moto non si trasmetterà istantaneamente perchè dovrà propagarsi in tutte le molecole del corpo *B*. Ma poichè i due corpi urtatisi sono compressibili, ambedue si deformeranno appianandosi dal lato in cui ha avuto luogo l'incontro. Dal momento del contatto dei due corpi, la loro deformazione va aumentando, ma nello stesso tempo l'accelerazione del movimento comunicata alle prime molecole di *B* si trasmette a poco a poco a tutta la massa del corpo, ed il rallentamento delle prime molecole di *A* si comunica a tutta la sua massa: perciò la velocità di *A* diminuisce, e quella di *B* aumenta. Finchè la velocità di *A*, quantunque diminuendo, si conserva maggiore di quella di *B*, che va aumentando; i corpi seguitano ad appianarsi, ma tosto che le velocità dei due corpi sono divenute eguali, la deformazione non aumenta più. Nondimeno l'urto non sarà terminato. Dal momento che le velocità dei due corpi si son fatte eguali, essi tendono per la loro elasticità a riprendere la forma che aveano prima dell'urto, e in conseguenza vengono a respingersi. Perciò la velocità del corpo *A* continua a diminuire; quella del corpo *B* ad aumentare, e ben presto i due corpi si separano e viepiù si allontanano fra loro.

Apparisce chiaramente, che *se i due corpi elastici hanno la stessa massa, dopo l'urto si scambieranno le loro velocità.* Così supposto che le due bilie *A* e *B* sieno di egual massa, ma che *A* abbia una velocità iniziale di 7^m per secondo, e *B* di 2^m; dopo la prima parte dell'urto avranno acquistato la comune velocità di 4^m 5 per secondo. La velocità di *A* sarà diminuita di 2^m 5; quella di *B* avrà aumentato della stessa quantità. Ma nella seconda parte dell'urto, allorquando l'elasticità restituisce a ciascuna palla delle forze proporzionali alla compressione subita, e in senso contrario alla direzione di questa forza, alla bilia *A* vien comunicata una velocità di 2^m 5, eguale alla velocità perduta, in direzione contraria a quella del suo movimento; talchè le resta una velocità di 2^m per secondo; alla bilia *B* vien comunicata una egual velocità 2^m 5, ma nella stessa direzione del suo movimento, talchè acquista una velocità di 7^m per secondo.

In conseguenza dell'indicato principio, *allorquando uno dei due corpi elastici di egual massa è in quiete, dopo l'urto, il movimento gli viene intieramente trasfuso dall'altro, che tosto rimane immobile.*

Perciò avviene che in una serie di globi d'egual massa e perfettamente elastici, situatí a contatto, se il primo va ad urtare il secondo, che insieme agli altri è in quiete, questo riceverà tutta la velocità del primo, e diverrà urtante pel terzo globo, al quale comunicherà la velocità ricevuta, restando esso medesimo in quiete, e nell'istesso modo si comunicherà la velocità fino all'ultimo, che rimbalzerà colla velocità stessa del primo globo urtante. I globi intermedj rimangono perfettamente immobili, e non servono che a trasmettere il movimento dal primo all'ultimo globo. Questa trasmissione sembra istantanea se l'esperimento si fa con un piccol numero di palle, ma diviene di una durata sensibile, quando esse sono molte. S'intende eziandio che se nella stessa serie di globi sono i due primi che vanno contemporaneamente ad urtare gli altri in quiete, si moveranno soltanto i due ultimi colla stessa loro velocità. Lo stesso dicasi se gli urtanti sono i primi tre, o un numero maggiore di globi. È da osservarsi che sebbene i corpi ci sembrino a contatto, non lo sono però

in modo rigoroso, e che anzi, se non esistesse una certa distanza, quantunque piccolissima, fra di essi, i fenomeni descritti non si produrrebbero. Da una palla all' altra il movimento si propaga in seguito di successivi cambiamenti di forma per ciascuna: se il contatto fra loro fosse perfetto, tutta la serie delle palle si muoverebbe a guisa di un corpo rigido.

Se una bilia elastica cade in direzione verticale su di un piano duro, sbalza e torna a salire per la verticale stessa; se vi cade o l' urta in direzione obliqua, invece di tornare in dietro percorrendo la stessa linea, prende una direzione, la quale forma *un angolo di riflessione eguale all' angolo d' incidenza*; cioè a dire, che condotta una perpendicolare al piano in cui urta la palla, nel punto ove accadde l' urto, questa linea forma due angoli eguali colle rette che corrispondono alla direzione in cui si muove la palla innanzi e dopo l'urto. Può facilmente verificarsi questa legge sul piano di un biliardo.

Duttilità. Abbiamo detto che i corpi non sono tutti egualmente dotati di elasticità, e che anzi è in essi molto variabile il limite di loro elasticità, cioè a dire il limite degli sforzi che possono sostenere senza cessare di essere elastici. Quando si sottopongono i corpi solidi a degli sforzi che oltrepassano questo limite, cioè a delle trazioni o a delle pressioni assai considerevoli, essi non riprendono più la loro forma e le loro dimensioni primitive, ma invece queste restano alterate. Questa nuova proprietà dei solidi è la *duttilità*; ma con tal nome si distingue più particolarmente la proprietà che hanno certi solidi, come per esempio i metalli, di ridursi in fili, mentre dicesi *malleabilità*, quella particolar duttilità per la quale siffatti corpi riduconsi in lamine.

I metalli riduconsi in fili per mezzo della *filiera*, la quale consiste in una lastra di acciajo nella quale sono praticati dei fori circolari i cui diametri vanno restringendosi. I margini di questi fori sono acuti. Si dà alla verga metallica, che si vuol ridurre in filo, un diametro poco più grande del maggior foro della filiera, e si assottiglia una delle sue estremità affinchè passi per questo foro: si afferra questa cima con una tanaglia, e tirando con forza si fa passare l' intiera verga attraverso il foro. La verga sorte necessariamente allungata ed assottigliata,

e si fa quindi successivamente passare per gli altri fori che hanno i diametri sempre più piccoli.

I metalli riduconsi in lamine, sia col martellamento, sia per mezzo del *laminatojo.* Questo apparecchio consiste in due cilindri metallici, posti orizzontalmente l'uno al di sopra dell'altro, i quali si fanno girare con egual velocità, ma in senso contrario. I cilindri possono esser posti a differenti distanze fra loro, ma una volta regolati, conservano un'eguale lontananza. La lastra metallica impegnata fra di essi è costretta a seguire il loro movimento, e a distendersi in modo da prendere la grossezza eguale alla loro distanza. Si ripassa nuovamente fra i cilindri maggiormente avvicinati, e così ottengonsi delle lamine viepiù sottili.

La duttilità e la malleabilità non dipendono dall'istessa causa, imperocchè si osserva che un dato metallo può esser duttilissimo e poco malleabile, e viceversa. Così il ferro riducesi in fili sottilissimi, ma non è capace di distendersi in lamine molto fini; mentre lo stagno si tira in lamine esilissime, e non in fili.

Ecco in qual ordine debbono collocarsi i principali metalli, rispetto a queste due proprietà.

Ordine di Malleabilità	Ordine di Duttilità
Oro	Oro
Argento	Platino
Rame	Argento
Stagno	Ferro
Piombo	Rame
Zinco	Zinco
Platino	Stagno
Ferro	Piombo

Tenacità. La resistenza che i solidi oppongono a due forze che agiscono in senso contrario e tendono ad allungarli o a dividerli, ha ricevuto il nome di tenacità. Essa sembra dipendere principalmente dalla coesione. Per misurare la tenacità dei corpi, si sospendono ad una estremità, e si fissa all'altra un bacino di bilancia che si carica progressivamente di pesi finchè l'aderenza delle molecole sia distrutta. Il peso sotto il quale avviene la rottura, dà la misura della tenacità o della resistenza alla trazione che possiede il corpo.

È stato osservato che la resistenza dei corpi, sotto forma di sbarre, di verghe o di fili, è indipendente dalla loro lunghezza, ed è proporzionale alla superficie d' una sezione perpendicolare alla direzione della trazione; che i corpi composti di fibre parallele, come i legni, resistono molto più nel senso di queste fibre che in qualunque altro; che i metalli lavorati o passati alla filiera, hanno molto maggior tenacità di quando sono stati semplicemente fusi; infine che la tenacità dei metalli diminuisce a misura che s'inalza la loro temperatura.

Ecco alcuni resultati indicanti i pesi sotto i quali si rompono dei prismi o dei fili metallici, di un millimetro quadro di sezione trasversa:

Ferro battuto	43,84	chilogr.
Ghisa	13,00	»
Bronzo da cannoni . . .	25,54	»
Rame battuto	24,86	»
Stagno fuso	3,32	»
Piombo	1,35	»

La tenacità di certi legni è pure rimarchevolissima. L'esperienza ha provato che un'asta di legno di faggio, di querce o di frassino può sopportare un peso quasi tanto grande quanto quello che sopporta una verga d'argento dello stesso diametro. Il quadro seguente indica i pesi sotto i quali si rompono certi legni ridotti in prismi allungati nel senso delle fibre, ed aventi un centimetro quadrato di sezione trasversa.

Bossolo	1400	chilogr.
Pino	840	»
Faggio	800	»
Querce	700	»

È da osservarsi che la querce è inferiore al pino per la resistenza alla trazione nel senso delle fibre, mentre che gli è superiore per la resistenza a delle trazioni esercitate in altri sensi.

Fra le sostanze vegetabili di cui si fanno dei fili o delle corde, si è osservato che la canapa è più tenace del lino nel rapporto di 46 a 37. Fra le sostanze animali, la seta è più tenace del crino di cavallo nel rapporto dei numeri 53 $\frac{1}{2}$ a 45.

Durezza. Chiamasi durezza di un corpo la resistenza che oppone alla separazione delle sue molecole.

Si giudica della durezza relativa di due corpi, dalla proprietà che uno di essi, tagliato in punta o a spigolo, può avere di solcare o incidere la superficie dell'altro. Questa proprietà permette di disporre i corpi solidi nell'ordine decrescente della loro relativa durezza, il che fornisce un mezzo idoneo a distinguerli fra loro quando la loro apparenza è la stessa. Il diamante è il più duro di tutti i corpi conosciuti; e non si riesce a lavorarlo ed a tagliarlo in faccette, se non per mezzo della sua stessa polvere.

La resistenza che presenta un corpo ad essere solcato ed inciso da un altro, non dipende solo dal grado di durezza del corpo incidente, ma ancora dall'angolo che gli si fa fare colla superficie del corpo su cui si applica, e dalla velocità che gli è data. Una lima che rode facilmente il ferro dolce è fortemente attaccata a un disco di ferro dolce al quale si dà una grande velocità. Lo spigolo dei cristalli del diamante non taglia perfettamente il vetro se non quando le facce che lo costituiscono sono egualmente inclinate sul vetro; se lo sono diversamente il vetro è soltanto roso.

La durezza non è proporzionale alla densità, giacchè l'oro, benchè molto meno duro del diamante, è quattro volte più denso.

Non bisogna confondere i corpi così detti *teneri* coi corpi *fragili*. La tenerezza e la fragilità non hanno rapporto fra loro. La prima è la proprietà opposta alla durezza; la seconda è la poca resistenza all'effetto della percussione, in modo da essere più o meno facilmente spezzati. Il vetro che è un corpo durissimo, è pure estremamente fragile, e lo stesso diamante si spezza sotto il martello; mentre che il piombo, che è un metallo così tenero da essere inciso perfino dall'unghia, non è punto fragile.

Proprietà dello stato liquido dei corpi.

Mobilità, compressibilità ed elasticità dei liquidi. Dicemmo la mobilità essere la principale e la più evidente proprietà di questo stato; difatti le molecole dei corpi liquidi possono in qualunque modo spostarsi, senza che perciò lo stato del corpo si muti. Le posizioni delle molecole di un liquido le une rispetto alle altre sono intieramente indifferenti.

I liquidi sono anche compressibili, ma in picciol grado, tanto che per lungo tempo si è messa in dubbio questa loro proprietà. Alla fine del diciassettesimo secolo gli Accademici del Cimento fecero delle numerose esperienze per constatare la diminuzione di volume dei liquidi colla compressione. Essi impiegarono prima un tubo ricurvo *abcd* (*Tav.* III, *Fig.* 88), terminato da due palle *A* e *B*; la prima era piena di acqua come anche una porzione del tubo *ab*, l'altra non era piena che fino alla origine del tubo. Dopo aver posto la palla *A* nel ghiaccio, essi scaldarono la palla *B*, il liquido di questa palla dilatandosi comprimeva la colonna d'aria che separava i due liquidi, e questa pressione si trasmetteva sul liquido del braccio *ab*. Giunsero così ad ottenere una fortissima pressione, ma non osservarono alcuna apprezzabile diminuzione del livello *m* dell'acqua nel tubo *ab*. Quest'effetto derivava probabilmente dalla condensazione di una parte dei vapori che si formavano nel tubo riscaldato, e per la quale aumentava l'altezza del liquido a misura che la compressione tendeva a diminuirla. Non furono più fortunati comprimendo l'acqua in un tubo diritto con una colonna di mercurio di 24 piedi di altezza. Fu allora che riempirono d'acqua una sfera di argento, e che videro, nel comprimerla per diminuirne il volume, dopo averla chiusa esattamente, trasudarne l'acqua attraverso le pareti. In sequela di questi tentativi, essi conclusero che la compressibilità dell'acqua, se pure esisteva, non poteva essere costatata coll'esperienza. Ma nel 1761 Canton riprese a studiare questa importante questione, e giunse a costatare la compressibilità dell'acqua e a misurarla. Per giungere a questo resultato, immaginò un apparecchio, che fu poi modificato da Oersted, e che fu chiamato *Piezometro* (*Tav.* IV, *Fig.* 91). Ecco in che consiste questo istrumento. *ABCD* è un cilindro di vetro, chiuso in *AB* da una ghiera di ottone nella quale entra a vite il corpo di pompa *EFGH*; *IK* è una vite che serve a sollevare e ad abbassare lo stantuffo *m*; *vs* è un tubo destinato ad introdurre l'acqua nel corpo di pompa, dopo averne empito il cilindro; *t* è un robinetto che chiude questo tubo. L'apertura laterale *u* del corpo di pompa serve a fare uscir l'aria, sin tanto che l'acqua entra pel tubo *vs*, ma tosto

si chiude all'abbassarsi dello stantuffo: *ab* è un recipiente cilindrico di vetro terminato in un tubo capillare *cd*, ed in questo tubo appunto diviso in parti di eguale capacità, e di cui si conosce il rapporto col volume del recipiente, si mette il liquido che si vuol comprimere. Prima di cominciare la esperienza s'introduce nell'estremità del tubo capillare *cd* terminata ad imbuto, una goccia di mercurio che serve d'indice. Unito a questo apparecchio è un tubo *ef*, pure di vetro, ben calibrato, aperto in basso, e che perciò riman sempre pieno di aria. Allorquando al discendere dello stantuffo l'acqua è compressa, si vede scendere l'indice di mercurio, e comprimersi nel tempo stesso l'aria contenuta nel tubo *ef*. Noi vedremo più innanzi come le diminuzioni di volume che avvengono nell'aria compressa, misurano la pressione esercitata sull'acqua. L'unità di pressione adottata nella ricerca della compressibilità de' liquidi è *il peso di un'atmosfera*, che equivale a circa un chilogrammo per ogni centimetro quadrato.

Per mezzo del piezometro, Oersted determinò che la compressione dell'acqua priva di aria era di 0,000050, per ogni atmosfera; quella dell'alcool di 0,000009; quella dell'etere solforico di 0,000126; e quella del mercurio di 0,000003. La compressibilità dei liquidi è perciò estremamente piccola, anche sotto pressioni molto forti. La determinazione dei numeri precedenti, è stata fatta con pressioni comprese fra una e venti atmosfere.

A 10,000 metri di profondità, l'acqua del mare provando una pressione di circa 1000 atmosfere, il suo volume dovrebb'esser ridotto di 1000 volte 50 milionesimi, ossia di $\frac{1}{20}$ del suo volume naturale.

Colladon e Sturm nelle loro esperienze sul piezometro, poterono costatare che i liquidi hanno una perfetta elasticità, poichè ritornano con estrema esattezza al loro primitivo volume quando si cessa di comprimerli.

L'elasticità dei liquidi può anche costatarsi allorquando sono ridotti in piccoli globuli. Così per esempio allorquando un globulo di mercurio è posto sopra un piano orizzontale, e vi si comprime, vedesi tosto cambiar di forma ed appianarsi, ma ritorna immediatamente alla forma sferica, tosto

che si cessa la compressione. Parimente, allorquando un globulo di mercurio urta con forza la superficie di un solido, ne è respinto in distanza. Si hanno pure dei segni di elasticità nello spruzzare dell'acqua, allorquando cade da una certa altezza sopra un piano qualunque.

Idrostatica. L'oggetto dell' idrostatica è di determinare le condizioni d'equilibrio dei liquidi e le pressioni che esercitano sulle pareti dei vasi che li contengono.

Più forze agiscono permanentemente sopra i liquidi: l'attrazione molecolare e la forza repulsiva del calore che costituiscono lo stato liquido; la gravità che opera su di essi come su tutti gli altri corpi. Noi possiamo immaginare una massa liquida non soggetta all'azione della gravità: questa massa non potrebbe più cadere abbandonata a sè, nè scolare quando si versasse, ed è evidente che non avrebbe più bisogno per rimanere in riposo, di essere sostenuta sul suolo, o contenuta in un vaso. Esaminiamo il modo con cui in queste date circostanze si trasmetterebbe in essa l'azione di una pressione qualunque esercitata sulla sua superficie. È un principio generalmente ammesso, come resultato di una costante osservazione, quello conosciuto col nome *di principio dell' eguaglianza di pressione*, e che serve di fondamento alla teoria dell'equilibrio dei liquidi. Ecco in che consiste. Consideriamo una massa liquida contenuta in un vaso di forma qualunque, e supponiamola senza peso. Sulle diverse facce di questo vaso trovinsi delle aperture munite di un corpo di pompa (*Tav.* III, *Fig.* 89), e ognuna di esse sia chiusa da uno stantuffo. Applicando una forza qualunque diretta dal di fuori al di dentro ad uno degli stantuffi, il liquido trasmette questa forza in senso contrario e in modo completo, sopra ogni faccia anteriore degli altri stantuffi, dimodochè supposti questi di un'egual superficie, rimarrebbero in equilibrio applicando a tutti la stessa forza; ed il liquido avrebbe così trasmesso in tutti i punti della sua superficie ed egualmente, la forza sopra uno di questi applicata.

Può dimostrarsi approssimativamente questo principio con un esperimento assai semplice. S'immagini un cilindro *AB* (*Tav.* III, *Fig.* 90) nel quale si muova lo stantuffo *M*. Sia il cilindro terminato da una sfera *C* fornita di un gran numero

di piccoli tubi applicati perpendicolarmente alla sua superficie. Piena la sfera ed il cilindro di acqua, se si abbasserà lo stantuffo, si vedrà l'acqua escire dai tubi in tutte le direzioni; per cui dovrà ammettersi che la pressione applicata immediatamente per mezzo dello stantuffo sulla superficie del liquido siasi trasmessa egualmente in tutte le direzioni. Nello stesso modo un corpo fragilissimo e sottilissimo, come sarebbe un guscio d'uovo, non si rompe, non si piega, per quanto sia grande la pressione che si fa subire al liquido in cui è immerso. Ciò non potrebbe accadere se non fosse premuto per ogni verso egualmente, in guisa che gli effetti delle pressioni opposte si distruggano.

Adunque *i liquidi trasmettono in tutti sensi ed egualmente, le pressioni che si esercitano sulla loro superficie.* Perciò la pressione esercitata da un liquido sopra una superficie è eguale su tutti i punti della medesima, e quindi è proporzionale alla grandezza della sua area. Questo fatto ci permette di moltiplicare a volontà una data pressione che si esercita per mezzo di un liquido sopra una superficie; basterà per questo d'ingrandire quest'ultima in proporzione. Così per esempio, si abbia un vaso pieno di acqua, munito di due fori di grandezza diversa, e chiusi da degli stantuffi. Abbia uno di questi una ampiezza 100 volte maggiore dell'altro; supponiamo di esercitare una pressione qualunque sullo stantuffo del piccolo foro: è chiaro che lo stantuffo del grande subirà una pressione cento volte maggiore, e quindi per l'equilibrio bisognerà applicarvi una forza cento volte più grande. Abbiamo anche in questo caso un esempio di una forza piccola che può fare equilibrio ad una grande, ma la *quantità di lavoro* anche adesso non è accresciuta. Il piccolo stantuffo avrà fatto una corsa cento volte maggiore di quella fatta dal grande, dimodochè le corse degli stantuffi sono in ragione inversa della pressione che subiscono, ed i prodotti della lunghezza della corsa per la pressione sono eguali per ambedue.

Equilibrio di una massa liquida non sottoposta ad alcuna azione estranea. Consideriamo una massa liquida su cui non agisca altra forza che l'attrazione delle sue molecole fra loro. Molecole assolutamente mobili, e che tutte si attirano egual-

mente in tutti i sensi non possono nel riunirsi dare origine che ad una massa di forma sferica, poichè non v'è ragione per la quale la figura che prende la massa sia disposta in un senso piuttosto che in un altro; e non v'è che la forma sferica che soddisfi a questa condizione di simetria di azione per tutti i sensi. Si può riconoscere coll'esperienza questa tendenza dei liquidi a prendere la forma sferica. Infatti, alla superficie della terra, la forma che prende una massa liquida dipende dall'azione reciproca delle sue parti e dalla gravità; ora a misura che la massa diminuisce, il peso diminuendo nello stesso rapporto deve avere una influenza decrescente, e in conseguenza la massa deve prendere una forma sempre più vicina a quella che prenderebbe se fosse completamente sottratta all'azione dell'attrazione terrestre. Ora delle piccole gocce di mercurio fatte cadere sopra un piano qualunque su cui non aderiscano, si vedono prendere la forma sferica. Lo stesso accade a delle piccole gocce di acqua gettate sopra un piano unto, su cui non possono aderire. Se le gocce si fanno più considerevoli si schiacciano in grazia dell'azione della gravità.

Equilibrio dei liquidi pesanti. Vi sono due condizioni di equilibrio pei liquidi: bisogna primieramente che le molecole superiori e libere formino una superficie perpendicolare alla direzione della gravità, e in secondo luogo, che una molecola qualunque della massa provi in tutti i sensi delle pressioni eguali e contrarie.

Affinchè una molecola qualunque della superficie libera di un liquido possa essere in equilibrio, conviene che come è egualmente premuta dalle molecole laterali, essa le prema pure egualmente. Bisogna adunque che la gravità da cui è animata, e per cui preme, abbia tal direzione che possa decomporsi in due componenti perfettamente eguali e dirette secondo le molecole laterali della superficie. Ma per questo è necessario che non sia inclinata più verso l'una che verso l'altra delle due molecole, senza di che le due componenti non sarebbero più eguali; convien dunque che le tre molecole contigue della superficie presa in considerazione sieno poste sopra una linea perpendicolare alla direzione della gravi-

tà, e quindi che la superficie stessa sia normale a questa direzione.

Dee dunque la superficie libera di un liquido in equilibrio essere orizzontale; perciò nel caso che il rapporto dell'ampiezza del recipiente al raggio terrestre sia trascurabile, le direzioni della gravità di tutte le molecole saranno sensibilmente parallele, ma ove sia notabile saranno convergenti. Quindi la superficie di un liquido è piana in un piccolo recipiente, curva in un ampio recipiente. Picard calcolò che sulla superficie terrestre, per uno spazio di cento tese, la curvatura del livello di un fluido non differisce da un piano che di una linea e mezzo; cioè se *BC* (*Tav.* IV, *Fig.* 92) indichi il livello, *BD* la tangente, sarà *DC* eguale ad una linea e ½, supposto *BD* eguale a cento tese. Perciò in un piccolo tratto di mare o di lago, il livello dell'acqua può considerarsi come un piano geometrico.

Quando le molecole liquide sono sollecitate da alcun'altra forza oltre la gravità, si concepisce facilmente che per l'equilibrio non debbono più formare una superficie perpendicolare alla sola gravità, ma una superficie perpendicolare alla resultante della gravità e di tutte le altre forze che agiscono contemporaneamente. Così la forza centrifuga che resulta dal movimento rotatorio della terra, combinandosi incessantemente alla gravità per animare i corpi, conviene che la superficie delle acque si disponga in modo da essere perpendicolare alla resultante di queste due forze, ed ecco perchè la superficie del mare è schiacciata verso i poli. Difatti la pressione che provano le acque all'equatore per la gravità, è assai diminuita dalla forza centrifuga, e quindi assai minore che ai poli, ove la forza centrifuga è nulla. Quindi una massa liquida di forma sferica dovrà appianarsi ai poli finchè l'aumento di pressione all'equatore, dovuto all'accumulazione di materia, compensi la forza centrifuga. Al piede delle grandi montagne, di cui la massa è capace di deviare il filo a piombo, la superficie delle acque non è più perpendicolare alla direzione della gravità, ma si solleva e s'inclina sulla vera verticale, per disporsi perpendicolarmente alla resultante delle azioni della terra e della montagna. Nello stesso modo avviene

che pel passaggio della luna al di sopra e al di sotto dell'orizzonte del mare, la forza attrattiva che la sua massa esercita sulle acque, si combini colla gravità per produrre una resultante che non è più verticale; da ciò dipende il sollevarsi e il deprimersi della superficie mobile del mare, che per le rotazioni della luna si succedono regolarmente producendo la oscillazione periodica del flusso e riflusso.

La seconda condizione d'equilibrio dei liquidi è evidente da per sè stessa, poichè le molecole che sono nell'interno della massa liquida ricevono le pressioni di tutte le molecole che sono poste al disopra di esse, e in virtù del principio dell'eguaglianza di pressione tendono a trasmetterle in tutti i sensi: ora se in due direzioni opposte, le pressioni che sopporta una molecola non fossero eguali e contrarie, questa molecola sarebbe spinta dalla pressione maggiore, e in conseguenza la massa liquida non sarebbe più in equilibrio.

Equilibrio di una massa composta di varj liquidi di differente densità. Ciascuno di questi liquidi risentendo l'azione della gravità dovrà obbedire alla comune legge d'equilibrio e disporre la sua superficie perpendicolarmente alla direzione della gravità. Perciò le loro superfici dovranno essere tutte orizzontali, e i varj liquidi dovranno quindi disporsi in strati paralleli; ed affinchè l'equilibrio sia stabile bisogna necessariamente che gli strati più densi sieno nella parte inferiore, giacchè allora soltanto il centro di gravità sarà il più basso possibile, nella qual condizione abbiamo visto consistere la stabilità dell'equilibrio dei corpi pesanti.

Pressioni esercitate dalle masse liquide. Quando le masse liquide sono in equilibrio, esercitano in virtù del loro peso delle pressioni considerevoli sulle pareti dei vasi che le contengono. Prima di valutare queste pressioni sulle pareti dei recipienti, esaminiamo come esse distribuisconsi nell'interno delle masse stesse, cioè a dire sopra le loro molecole. Egli è facile d'intendere che la pressione dovuta all'azione della gravità dev'esser varia alle diverse altezze della massa liquida.

Se si prende a considerare in una massa liquida un filetto verticale liquido, la molecola di questo filetto immediatamente sottoposta alla molecola della superficie libera, deve, per impedirne la caduta, resistere al suo peso; la molecola che succederà dovrà resistere al peso delle due sovrapposte, e così di seguito, cosicchè scendendo a mano a mano lungo il filetto, le molecole che s'incontreranno sopporteranno sempre maggiori pressioni. Siccome la massa liquida presa in esame può considerarsi formata dalla riunione di un gran numero di filetti liquidi eguali al precedente, ne segue che tutti i punti di uno strato orizzontale della medesima sopportano la stessa pressione, la quale pel principio dell'eguaglianza di trasmissione si distribuisce egualmente in tutti i sensi. Ma qual'è questa pressione e come può misurarsi? S'introduca un tubo di vetro, di metallo, di legno o di qualunque altra materia, aperto alle sue due estremità, in una massa liquida: si osserva che nel tubo il liquido ha lo stesso livello che ha il liquido circondante. Poichè la colonna liquida contenuta nel tubo tende pel suo peso a cadere, e non di meno rimane in equilibrio, ciò significa che un ostacolo si oppone alla sua caduta, e quest'ostacolo proviene dalla pressione che esercita su di essa il resto della massa liquida. La pressione sullo strato inferiore della colonna liquida contenuta nel tubo deve perciò essere eguale al peso della colonna stessa, e diretta in senso contrario. Ma il peso di questa colonna è determinato dall'ampiezza dell'orifizio del tubo, e dall'altezza della colonna medesima, dunque *la pressione che sopporta uno strato qualunque orizzontale di una massa liquida è eguale al peso di una colonna liquida verticale che ha per base la superficie dello strato liquido, e per altezza la distanza dalla superficie di livello.*

Da questo principio se ne dedurrà facilmente la pressione che un liquido esercita contro il fondo del vaso che lo contiene. Difatti, ritornando all'esempio del tubo immerso in una massa liquida, e nel quale il liquido interno è allo stesso livello che il liquido esterno, è certo che se allo strato orizzontale che trovasi all'orifizio inferiore di questo tubo si sostituisse un fondo solido, questo fondo sopporterebbe esattamente la stessa pressione. Ciò può anche provarsi coll'esperienza.

Si prenda un tubo aperto alle due estremità (*Tav.* IV, *Fig.* 93), e si applichi contro l'orifizio inferiore una lastra metallica o di vetro, che lo chiuda esattamente. Così disposto s'introduca in una massa liquida. Per poco che il tubo sia immerso è inutile continuare a sostenere il fondo posticcio, perchè il liquido che circonda il tubo esercita contro di esso una pressione diretta di basso in alto. Questa pressione cresce sempre a misura che s'immerge maggiormente il tubo, e può provarsi facilmente che è misurata in tutti i punti dal peso della colonna liquida che vi si troverebbe se il tubo non avesse fondo. Difatti si versi dell'acqua nell'interno del medesimo: si osserverà che a qualunque profondità si tenga il tubo, al momento in cui il liquido interno si troverà allo stesso livello dell'esterno il fondo posticcio si distaccherà e cadrà. Ciò significa che allora soltanto le pressioni del liquido esterno e dell' interno si fanno equilibrio, e che il fondo cade in virtù del proprio peso. Al liquido che si versa nell' interno del tubo si possono sostituire dei pesi che lo equivalgano, e si otterranno gli stessi resultati. Allorquando il peso introdotto nel tubo sarà eguale a quello della colonna liquida che farebbe equilibrio alla pressione del liquido esterno, il fondo posticcio cadrà.

Adunque *la pressione che un liquido esercita sul fondo del vaso che lo contiene è eguale al peso della colonna liquida che ha per base il fondo stesso, e per altezza la distanza dal fondo alla superficie di livello.*

Questa pressione è per uno stesso liquido indipendente dalla forma del vaso, purchè la base del medesimo e l'altezza del medesimo si conservino costanti. Ciò si dimostra per mezzo di un apparecchio assai semplice immaginato da Pascal, il quale consiste in una cassa di legno *ABCD* (*Tav.* IV, *Fig.* 94), su cui è fisso un cilindro di ottone *EFGH*, nel quale si muove liberamente uno stantuffo *MN* sostenuto da un cordone all'estremità dell'asta di una specie di bilancia. Sopra questo cilindro si montano a vite vasi di forma diversa, e si empiono di acqua; e si misura, col peso che si è costretti di porre nel bacino *P* per sostenere lo stantuffo, la pressione che il liquido esercita sulla base comune di tutti questi vasi. Ora si osserva che allor-

quando il liquido giunge in tutti questi vasi alla stessa altezza, il peso aggiunto al bacino è sempre lo stesso, e che appena si aggiunge una piccolissima quantità di acqua a ciascuno dei vasi, lo stantuffo cade per l'eccesso di pressione.

Questa esperienza si suol fare con dei vasi che hanno le forme rappresentate dalla figura 95.

Adunque la pressione sullo stesso fondo è sempre la stessa, sia che il vaso contenga molto liquido, sia che ne contenga pochissimo; perciò essa potrà esser maggiore, minore o eguale al peso del liquido contenuto. È eguale se il vaso ha le pareti laterali perpendicolari alla base, come pel cilindro, pel prisma retto ec.; è maggiore se il vaso si stringe in alto; è minore se si allarga. Si deduce da ciò che con una certa quantità di liquido, si potrà esercitare sopra una data base una pressione variabilissima, la quale sarà tanto maggiore quanto maggiore sarà l'altezza che si darà al vaso. Così, con un litro d'acqua che pesa un chilogrammo si può esercitare sul fondo di un vaso una pressione piccolissima, e se ne può anche esercitare una grandissima. Onde la pressione sia di un chilogrammo basta prendere un vaso cilindrico di base qualunque; la pressione totale sarà sempre eguale al peso del liquido, e quindi sempre di un chilogrammo; solamente, la pressione su ciascun centimetro quadro del fondo sarà più piccola o più grande, secondo che il vaso sarà più o meno grande. Onde la pressione sia di $\frac{1}{10}$ di chilogrammo, basterà prendere un vaso di cui la base sia, per esempio, un decimetro quadro, e che vada talmente allargandosi che l'altezza del liquido sia di $\frac{1}{10}$ di decimetro, ossia un centimetro. Onde la pressione sia di 10 chilogrammi, converrà prendere un vaso, di cui la base sia un decimetro quadro, e talmente ristretto che il litro di acqua vi prenda un'altezza di 10 decimetri; ossia di un metro.

Onde ben concepire come avvenga che una stessa quantità di liquido possa esercitare pressioni tanto diverse sopra uno stesso fluido, cosa che ad un tratto sembra un paradosso, soffermiamoci a considerare i vasi, in cui abbiamo dimostrato il fatto, cominciando da quello che va restringendosi in alto. In ogni strato orizzontale del liquido contenuto in questo

vaso la pressione che soffrono tutte le molecole è la stessa, per cui quella molecola che è contigua alla parete soffre, per la resistenza della parete, una pressione eguale a quella di tutte le altre del suo strato, cioè a dire una pressione eguale a quella che soffrirebbe se le sovrastasse una colonna liquida alta quanto lo è il liquido nel vaso. Preme perciò le molecole sottoposte e quindi il fondo, come se avesse il liquido sopra di sè. Al contrario se la figura del vaso è tale che si allarghi in alto, e che le sue pareti divergano dal fondo, è chiaro che quelle molecole, di cui la verticale cade sulle pareti laterali inclinate, premeranno su queste e non sul fondo. Vedesi da ciò che precede che per mezzo d'una piccolissima quantità d'acqua è facile produrre un'enorme pressione, disponendo al di sopra d'una larghissima base, un tubo lungo e strettissimo che si riempie di liquido. Si giunge in questa guisa a fare scoppiare una botte piena di liquido, introducendo nella sua parte superiore un tubo strettissimo ed assai lungo, nel quale si versi dell'acqua.

Pressione dei liquidi contro le pareti laterali dei vasi. Le pressioni laterali si deducono dalle pressioni orizzontali corrispondenti, per mezzo del principio d'eguaglianza di pressione. Difatti il punto *m* (*Tav.* IV, *Fig.* 96) facendo parte dello strato orizzontale *mp*, questo strato gli trasmette la pressione che sopporta esso stesso: esso la trasmette egualmente in ogni senso; quindi il punto *m* è premuto normalmente con quella stessa pressione che soffre in tutti i punti lo strato *mp*. Ciò posto concepiamo una porzione di una parete laterale divisa in un gran numero di elementi infinitamente piccoli, per modo che si possano riguardare tutti i suoi punti come egualmente distanti dalla superficie del liquido: la pressione totale provata da questa porzione di parete sarà eguale alla somma dei pesi di tanti cilindri liquidi quanti sono gli elementi che la compongono, aventi per base gli elementi stessi, e per altezza la distanza loro dalla superficie di livello, somma evidentemente eguale al peso di un cilindro liquido avente per base la superficie totale della porzione di parete e per altezza la distanza dalla superficie del liquido a ciascuno degli

elementi supposti. Ma in realtà i varj punti di questa porzione di parete non sono egualmente distanti dal livello del liquido. I più profondi sono più distanti e quindi più premuti. Perciò la pressione totale che sopporterà questa porzione di parete sarà eguale alla colonna liquida che abbia per base la superficie totale di questa porzione di parete, e per altezza la distanza media di tutti i suoi punti dalla superficie del liquido. Questa distanza media si trova colla meccanica eguale in ogni caso, alla distanza del centro di gravità della parete dalla superficie di livello.

Adunque *la pressione che sopporta una parete laterale è eguale al peso di una colonna liquida che avesse per altezza verticale la distanza del centro di gravità della parete dalla superficie di livello, e per base orizzontale una superficie eguale alla parete stessa.*

Centro di pressione. È spesso necessario di conoscere non solo il valore totale della pressione esercitata contro una estensione qualunque della parete di un vaso, ma ancora il punto di applicazione della resultante delle pressioni parziali che la producono; giacchè questo punto è quello al quale converrebbe applicare una forza perpendicolare alla superficie, ed eguale alla totalità della pressione, per farle equilibrio. Questo punto porta il nome di *centro di pressione.*

È evidente che se le pressioni esercitate sui varj punti della parete fossero costanti a tutte le altezze e quindi eguali fra loro, il centro di pressione coinciderebbe col centro di gravità della parete; ma invece le pressioni aumentano colla profondità, e perciò il centro di pressione è sempre più basso del centro di gravità.

Equilibrio dei liquidi nei vasi comunicanti. Sieno *A* e *B* (*Tav.* IV, *Fig.* 97) due vasi di forma qualunque che comunichino fra loro per mezzo del canale inferiore *CD*, e ripieni di un liquido omogeneo. Se noi immaginiamo in questo canale una parete verticale mobile *mn*, è evidente che l'equilibrio non potrà sussistere finchè questa parete mobile non sarà egualmente premuta sulle sue facce. Ora il liquido racchiuso in ciascuno dei vasi essendo omogeneo, esercita sopra *mn* una pressione orizzontale che dipende unicamente dall'altezza del

livello del liquido al di sopra del centro di gravità di questa parete; dunque l'equilibrio non può sussistere nei vasi *B* e *A*, se non quando i loro livelli sono alla stessa altezza, qualunque sieno poi le forme e le dimensioni relative dei vasi.

È evidente che questa condizione di equilibrio deve appartenere egualmente a un numero qualunque di vasi comunicanti, pieni di un liquido omogeneo. Si può facilmente verificare questa legge per mezzo dell'apparecchio rappresentato dalla figura 98 della *Tav.* IV. *A* è un vaso di vetro di una grande capacità, munito inferiormente di un tubo orizzontale, sul quale sono fissati dei tubi di vetro *B*, *C*, *D*, di dimensioni e forme prese ad arbitrio. Introducendo dell'acqua o un liquido qualunque per uno di questi tubi, si vedrà salire in tutti allo stesso livello. Se uno dei tubi, qual sarebbe *D*, è assai corto, il liquido si slancia al di fuori per l'apertura del tubo per raggiungere il livello degli altri vasi, ma non vi giunge mai esattamente per una ragione che vedremo in seguito.

Questo apparecchio mette in evidenza un fatto importante, cioè a dire la possibilità di fare equilibrio ad una massa grandissima di liquido contenuta in un vasto recipiente, con una piccolissima quantità del medesimo contenuta in un tubo assai stretto. Difatti la quantità di liquido contenuta nel tubo *B* fa equilibro a quella contenuta nel vaso *A*. Su questo principio, che è conosciuto col nome di *paradosso idraulico*, è fondata la costruzione della *pressa idraulica*. Difatti supponiamo applicati ai due vasi comunicanti *A* e *B* due stantuffi, e supponiamo che il piccolo stantuffo *B* prema sul liquido con una forza eguale a 100 chilogrammi: il grande stantuffo, che supporremo di una base 10 volte maggiore, sarà sollevato con una forza di 1000 chilogrammi, talchè un corpo interposto fra il piano superiore di questo stantuffo ed un ostacolo fisso sopporterà tutta questa pressione. La pressa idraulica sarà da noi più dettagliatamente descritta, allorquando avremo esposta la teoria delle trombe, le quali hanno parte nella costruzione di questa macchina.

In tutto ciò che precede noi abbiamo supposto che il liquido fosse omogeneo; se fosse altrimenti le condizioni di equilibrio non sarebbero più le stesse. Infatti se i vasi *A* e *B* con-

tengono dei liquidi d'inegual densità separati dalla parete *mn* (*Tav.* IV, *Fig.* 97) la pressione che essa prova da ciascuno di essi è eguale al peso della colonna di questo fluido che avrebbe per base l'estensione di questa parete e per altezza la distanza del suo centro di gravità dal livello, e i pesi di queste colonne sono evidentemente proporzionali alle loro altezze e alle densità dei liquidi. Ora poichè per l'equilibrio i pesi delle due colonne devono essere perfettamente eguali, ne segue che *le altezze delle colonne devono essere in ragione inversa della densità dei liquidi.*

Si può verificare questa legge per mezzo di un tubo di vetro piegato ad *U*, nel quale una colonna di mercurio contenuta in uno dei bracci ed alta un pollice, fa equilibrio ad una colonna di acqua contenuta nell'altro braccio ed alta circa 14 pollici; ed appunto il mercurio è circa 14 volte più denso dell'acqua.

Equilibrio dei corpi immersi. Quando s'immerge un corpo solido in un liquido esso occupa un certo spazio e quindi sposta un volume di liquido eguale al suo. Perciò il liquido nel quale egli è immerso esercita contro la sua faccia inferiore una pressione di basso in alto, la quale è eguale al peso della colonna liquida contro cui si esercitava prima che vi fosse immerso il corpo solido. Ma questa colonna liquida ha esattamente lo stesso volume del corpo; dunque la pressione di basso in alto che questo subisce è eguale al peso di un volume eguale al suo del liquido in cui è immerso. Questo è il famoso principio scoperto da Archimede, che si annuncia in questi termini: *un corpo immerso in un liquido perde una porzione del suo peso eguale al peso del liquido che sposta.* E di fatti, quella spinta della massa liquida o pressione di basso in alto, si esercita in direzione contraria a quella della gravità, e perciò deve distruggere una porzione del peso del corpo.

Il principio d'Archimede si dimostra sperimentalmente per mezzo della *bilancia idrostatica.* Consiste in una bilancia comune che ha degli uncini fissi nella parte inferiore dei suoi piatti. *A B* e (*Tav.* IV, *Fig.* 99) sono due cilindri di metallo

sospesi l'uno al di sotto dell'altro, ad un piatto della bilancia. Il cilindro *B* è massiccio, l'altro *A* è una specie di secchio, di cui l'interna capacità è esattamente eguale al volume del cilindro pieno *B*: in una parola *B* entra esattamente in *A*. Si comincia dal pesare i due cilindri così sospesi l'uno al di sotto dell'altro, e stabilito l'equilibrio si fa pescare nell'acqua il cilindro *B*. Immediatamente la bilancia trabocca dalla parte dei pesi: il cilindro immerso ha perduto una porzione del suo peso, ed è facile provare per la disposizione descritta, che questa porzione perduta è esattamente eguale al peso di un volume d'acqua simile al volume del cilindro *B*. Basterà versare dell'acqua nel cilindro *A*, e tosto che sarà pieno, l'equilibro della bilancia sarà di nuovo ristabilito. Si sarà così aggiunto un peso esattamente eguale a quello dell'acqua spostata dal cilindro immerso. Una palla di piombo ed una di avorio si fanno equilibrio sospese alla bilancia idrostatica finchè si pesano nell'aria, ma non si equilibrano più pesandole immerse ambedue nell'acqua, giacchè la palla di avorio per bilanciare la palla di piombo deve avere un volume assai maggiore di questa; perciò immersa nell'acqua, la palla di avorio, che ha maggior volume, perderà un peso maggiore. Se si torrà la palla di piombo e si sostituirà ad essa un peso minore, capace di fare equilibrio alla palla di avorio, mentre è immersa nell'acqua, se all'acqua si sostituirà dell'alcool o dell'olio, l'equilibrio non sussisterà più perchè l'alcool e l'olio pesando meno dell'acqua, il volume di questi liquidi scacciati dalla palla immersa peserà meno di un egual volume di acqua, e l'equilibrio sarà rotto.

Se la spinta che si esercita contro un corpo immerso distrugge intieramente il suo peso, il corpo rimane in equilibrio nel liquido senza bisogno di esser sostenuto. Ciò accade quando il peso del corpo è eguale al peso del liquido spostato, cioè a dire quando il corpo ed il liquido hanno la stessa densità. Difatti si osserva che un corpo della stessa densità del liquido nel quale è immerso sembra aver perduto tutto il suo peso. Un uovo messo nell'acqua un po' salsa può con qualche precauzione, rimaner sospeso nel mezzo del liquido. Lo stesso potrà accadere ad una massa di olio formata dalla

riunione di un certo numero di gocce di questo liquido, in un miscuglio di acqua e di alcool convenientemente dosato.

Per l'equilibrio del corpo sommerso si richiede ancora che le due forze applicate al corpo, cioè il peso e la spinta del fluido, si trovino nella stessa verticale, e quindi bisognerà che il centro di gravità del corpo e quello del fluido spostato soddisfino a questa condizione; e affinchè l'equilibrio sia stabile conviene inoltre che il centro di gravità del corpo sia nel punto più basso possibile. Le due prime condizioni resultano evidentemente da ciò, che il peso del corpo e la spinta del fluido sono due forze parallele e contrarie, le quali non possono distruggersi, se non quando sono eguali e dirette secondo la stessa linea retta. In quanto alla condizione di stabilità, resulta dal principio che il centro di gravità di un corpo tende sempre a discendere più in basso che può.

I corpi meno densi del liquido in cui vengono immersi salgono a galla in virtù dell'eccesso del peso che il liquido scacciato ha sul loro proprio peso. Giunti alla superficie galleggiano, perchè a distruggere il loro peso basta solo che una porzione di essi sia immersa. *Un corpo galleggiante, scaccia adunque un volume di liquido, il cui peso è eguale al suo.* Perciò il ferro, il rame, il marmo ec., galleggiano sul mercurio; e del pari galleggiano sui metalli fusi le scorie, mentre che pochissimi sono i corpi che galleggiano sull'alcool e sull'etere, che sono fra i liquidi più leggieri. In generale ogni corpo potrebbe galleggiare sopra un liquido purchè avesse una forma conveniente, cioè che contenesse poca massa in un grande volume. Così una tazza d'argento, una sfera di rame vuota, un vascello di ferro possono galleggiare sull'acqua. Affinchè un corpo galleggi bisogna che il centro di gravità di questo corpo ed il centro di gravità dell'acqua scacciata sieno sulla stessa verticale. Se il primo di questi punti è più basso del secondo, il corpo galleggia in una maniera stabile; nel secondo caso dovrà capovolgersi al più leggiero movimento. È per questa ragione che i bastimenti poco carichi, per maggior sicurezza si zavorrano, onde far discendere il loro centro di gravità. Più il centro di gravità è basso, e più stabilmente galleggia

un corpo. Un corpo galleggiante spostato dal suo equilibrio stabile, dopo varie oscillazioni vi ritorna. Un bastimento galleggiante sul mare, a tutto rigore non conserva nemmeno per un istante il suo stato di equilibrio stabile, ma fa delle continue oscillazioni intorno a tal posizione.

Determinazione della densità o peso specifico dei corpi solidi e liquidi. Stabilite così le condizioni principali dell'equilibrio dei corpi immersi, ci sarà facile intendere il modo col quale si giunge a determinare la densità dei corpi solidi e liquidi.

Si disse che per densità di un corpo s' intendeva il rapporto tra il suo peso ed il suo volume, e che le densità dei varj corpi avrebbero potuto stabilirsi, determinando il peso di volumi eguali dei varj corpi; che però i fisici aveano stabilito una unità di misura per la densità dei corpi solidi e dei liquidi, la quale consisteva nel peso di un determinato volume di acqua, a cui riferivansi i pesi di eguali volumi dei differenti corpi; e che infine ciò poteva semplicizzarsi, determinando il peso assoluto dei corpi presi sotto qualunque volume, quindi il peso assoluto di un volume eguale al loro di acqua, e stabilendo il rapporto fra questi due pesi.

Noi sappiamo ora come ottenere il peso di un volume di acqua eguale a quello di un corpo solido qualunque: lo pesiamo prima nell'aria; poi sospeso con un filo sottilissimo all'uncino della bilancia idrostatica, lo pesiamo immerso nell'acqua. La diminuzione di peso che egli soffre in questa seconda pesata, è appunto il peso del volume d'acqua eguale al suo volume. Allora non ci resta che a dividere il peso assoluto del corpo per il peso che ha perduto essendo immerso nell'acqua per ottenere la densità del corpo riferita a quella dell'acqua, presa per unità, ossia il suo peso specifico. Siccome la densità dei corpi varia colla temperatura, e quella dell'acqua anche in ragione della natura e della quantità delle sostanze che tiene disciolte, si è convenuto di prendere acqua distillata ed alla temperatura di 4°, che corrisponde al suo massimo di densità, e i corpi a 0°. Ci possiamo servire anche della bilancia ordinaria. Si pesa prima il corpo nell'aria, poi nell'acqua, sospendendolo al piatto della bilancia con un filo finissimo.

Invece della bilancia idrostatica o della bilancia ordinaria si usa anche per la determinazione dei pesi specifici, la così detta bilancia di Nicholson. Consiste quest'apparecchio in un cilindro metallico vuoto *ABCD* (*Tav.* IV, *Fig.* 100) terminato superiormente e inferiormente da due coni *EAB* e *FCD*. Il primo porta un'asta metallica *EG* terminata dalla capsula *MN*: alla estremità del secondo è sospesa liberamente una capsula *P* piena di piombo. Quest'apparecchio immerso nell'acqua verticalmente, trovasi in equilibrio stabile, e il peso posto in basso è tale che lo fa immergere fino alla linea *a b*: si traccia sull'asta *EG* un punto *o* che serve a darci un punto fisso d' immersione. Allorchè si vuole con quest'apparecchio avere il peso specifico di un corpo, si comincia dal determinare il peso di cui deve esser caricato il piatto *MN* della bilancia, perchè s' immerga fino al punto *o*: si tolgono allora i pesi, si mette il corpo di cui si cerca il peso specifico, e insieme vi si aggiungono tanti pesi quanti ne occorrono perchè l'apparecchio s' immerga fino al punto *o*. È chiaro che la differenza dei pesi impiegati in queste due operazioni, ci dà esattamente il peso del corpo, come potrebbe aversi da una bilancia comune. Si passa allora il corpo nella capsula inferiore, e s' immerge di nuovo l'apparecchio nell'acqua. È certo che il punto *o* uscirà fuori del liquido, e il peso che si dovrà aggiungere sul piatto *MN*, onde l'apparecchio s' immerga sino ad *o*, sarà il peso di un volume d'acqua eguale a quello del corpo.

Quando si vuol determinare il peso specifico dei corpi ridotti in polvere, si prende un piccolo recipiente di vetro con turacciolo smerigliato, si empie di acqua, e postolo insieme al corpo sopra un piatto della bilancia, si pone in equilibrio con corpi qualunque posti nell'altro piatto. Ciò fatto s' introdurrà il corpo in polvere nella boccetta che si richiuderà poi esattamente dopo averla bene asciugata. Si aggiungeranno a questo piatto alcuni pesi per ristabilire l'equilibrio; ed è certo che questi rappresenteranno il peso della acqua uscita, e quindi il peso di un volume d'acqua eguale a quello del corpo. Importa assai che il turacciolo abbia una piccola scanalatura, da cui possa liberamente uscire l'eccesso dell'acqua, senza di che non si sarebbe certi

che il turacciolo arrivasse sempre allo stesso punto. In questa determinazione è necessaria una precauzione, consistente nel liberare le particelle del corpo dall'aria interposta. Vi si riesce in due modi, o ponendo il recipiente pieno d'acqua. in cui già s' introdusse la polvere, nel vuoto della macchina pneumatica, ovvero facendo bollire l'acqua in cui è immersa la polvere.

Quando si tratta della determinazione del peso specifico dei corpi più leggieri dell'acqua, volendo adoprare la bilancia di Nicholson o la bilancia idrostatica, si aggiunge alla capsula inferiore o all'uncino della bilancia, una specie di rete concava verso il basso, nella quale si dispone il corpo, e s' immerge nell'acqua senza timore che ne esca.

Se i corpi di cui si vuol trovare il peso specifico si sciolgono nell' acqua o vi si decompongono, si determina la densità del corpo relativamente ad un liquido in cui non si alteri, e moltiplicando questa densità per quella già nota del nuovo liquido adoprato, si ottiene la densità del corpo rispetto all'acqua, come si sarebbe ottenuta potendolo pesare in questo liquido. Difatti sia P il peso del corpo, P' il peso di un egual volume del nuovo liquido adoprato, P'' il peso di un egual volume d'acqua, D la densità che si cerca, D' la densità del corpo trovata rispetto al nuovo liquido, D'' la densità di questo liquido; si avrà

$$D = \frac{P}{P''},\ D' = \frac{P}{P'},\ D'' = \frac{P'}{P''},\ \text{ma}$$

$$P = D' \times P' \text{ e } P'' = \frac{P'}{D''};\ \text{dunque}$$

$$D = D' \times D''$$

Determinazione del peso specifico dei liquidi. Il metodo più facile per fare questa determinazione consiste nel pesare successivamente, vuoto e pieno di acqua stillata, un piccolo recipiente chiuso con un turacciolo di cristallo smerigliato, onde avere per differenza il peso del volume di acqua che contiene; quindi pesarlo nuovamente pieno del liquido di cui si vuol determinare il peso specifico, per avere parimente per differenza il peso del liquido. Ora in ciascuna di queste esperienze,

il matraccio essendo stato esattamente riempito, e il turacciolo di cristallo penetrando sempre fino allo stesso punto, il volume dell'acqua è eguale a quello del liquido; in conseguenza dividendo il peso di quest'ultimo per quello dell'acqua si otterrà il peso specifico cercato. È inutile accennare che allorquando si rimpiazza l'acqua col liquido di cui si cerca la densità, il recipiente dev'essere bene sgocciolato, e quindi bene asciugato e disseccato quando dopo averlo riempito esattamente vi si pone il turacciolo.

Si usano spesso nel commercio, per riconoscere le densità dei liquidi, dei piccoli strumenti conosciuti col nome di *areometri* o *pesa liquori*. Gli areometri sono ordinariamente di vetro; sono composti di un tubo *A B* (*Tav.* IV, *Fig.* 101), chiuso alle due estremità e terminato da un rigonfiamento che ha al di sotto una piccola palla *M* piena di piombo o di mercurio, destinata a tenere in equilibrio in posizione verticale l'istrumento allorchè è immerso in un liquido; il tubo *A B* contiene una scala graduata. Quando si pone questo istrumento in un liquido, esso immergesi tanto maggiormente quanto più il liquido è leggiero, giacchè tende a discendere con una forza eguale al suo peso, e a salire con una forza eguale a quella del volume del liquido spostato: conseguentemente affinchè quest'ultima forza faccia equilibrio alla prima, che è costante, il volume del fluido spostato dovrà farsi tanto più grande quanto meno denso sarà il liquido. Il più semplice degli areometri consiste in un tubo *A B* (*Fig.* 102 *Tav.* IV), perfettamente cilindrico chiuso alle sue due estremità, e caricato di pesi in basso perchè si regga verticale in qualunque liquido. S'immerge questo tubo nell'acqua stillata e si segna 100 al punto in cui giunge al livello di questo liquido. Si divide la lunghezza immersa in 100 parti eguali, e questa divisione si prolunga anche al di sopra. Tale istrumento non solo ci serve a riconoscere un cambiamento qualunque nella densità dell'acqua, ma può anche darci il valore di questo cambiamento, cioè la densità del liquido in cui è immerso. Si supponga d'immergerlo in un liquido, nel quale giunga a pescare sino al 125°; ne resulta evidentemente che un volume d'acqua eguale a 100 pesa come un volume del-

l'altro liquido eguale a 125, poichè nei due casi questo peso è eguale a quello dell'istrumento. E siccome a pesi eguali, le densità sono in ragione inversa dei volumi, si avrà la densità del liquido dalla proporzione

$$125 : 100 :: 1 : x, \text{ da cui si ha } \quad x = \frac{100}{125} = 0{,}80$$

Quest'apparecchio chiamasi *densimetro*. Non è adoprato in commercio perchè sarebbe incomodo a motivo della troppa lunghezza che converrebbe dare al tubo, acciò servisse per liquidi di una densità molto varia. Invece in commercio si adoprano degli istrumenti che non c'indicano la densità dei liquidi rispetto all'acqua, ma solamente se un liquido è più o meno denso di un altro. Sono graduati diversamente secondo l'uso a cui si destinano. L'areometro il più comune è quello di Beaumé. La sua graduazione si fa immergendo lo istrumento nell'acqua pura, segnando 0 nel punto in cui si ferma, e poi immergendolo in un altro liquido preparato sciogliendo 15 parti di sal marino bene asciutto in 85 parti di acqua. L'istrumento s'immerge meno in quest'ultimo liquido. Beaumé divide lo spazio compreso fra i due punti d'immersione in 15 parti eguali, e prolunga la scala al di sotto, in modo che quanto più il liquido è denso tanto è maggiore il numero dei gradi indicati dall'areometro. Pei liquidi più leggieri dell'acqua il 10.° grado è determinato dalla immersione dell'istrumento nell'acqua stillata, e lo zero da una soluzione di sal marino composta di 90 parti di acqua e 10 di sale; la scala si prolunga al di sopra e al disotto di questa divisione. Nelle arti si fa uso di certi areometri che danno direttamente la densità di certi particolari miscugli, preso per termine di paragone un liquido normale. Così si hanno i pesa-sali, i pesa-acidi, i pesa-latte ec.

Per determinare la quantità di alcool e d'acqua contenute nell'acquavite, Gay-Lussac ha immaginato un areometro particolare, a cui ha dato il nome di *alcoolometro*. Ha la stessa forma degli altri, ma è graduato in questa guisa. S'immerge nell'alcool puro segnando 100 al punto in cui si ferma; si fanno in seguito dei miscugli con acqua ed alcool puro contenenti $\frac{9}{10}$, $\frac{8}{10}$, $\frac{7}{10}$ ec., del loro volume di alcool, e le gradua-

zioni si fanno segnando 90, 80, 70, nei punti in cui si ferma nei suddetti miscugli. Chiamando 100 il grado di purezza dell'acquavite sarà $\frac{9}{10}$ quando l'alcoolometro s'immergerà fino a 90°, sarà $\frac{8}{10}$ quando s'immergerà fino a 80°; o in altri termini il liquido conterrà nel primo caso 9 parti in volume di alcool ed una di acqua, e nel secondo 8 parti di alcool e due di acqua. Il pesa-spiriti di Cartier, è pure assai impiegato in commercio. Questo segna 0° nell'acqua pura, e 44° nell'alcool assoluto, e l'intervallo è diviso in 44 parti eguali.

Quadro dei pesi specifici di alcuni corpi notissimi essendo 1 quello dell'acqua.

Platino	20,98	Allumina	0,82
Oro	19,26	Magnesia	0,34
Mercurio	13,57	Vetro di bottiglia	2,73
Piombo	11,35	Cristallo	2,89
Argento	10,47	Zolfo	1,99
Rame	8,89	Carbon fossile	1,32
Stagno	7,99	Carbone di legna	0,44
Ferro	7,78	Acqua stillata	1,00
Zinco	7,10	Acqua del mare	1,03
Diamante	3,52	Acqua del Mar-morto	1,24
Topazzo	4,01	Acido solforico	1,85
Granato	4,18	Acido nitrico	1,58
Smeraldo Peruviano	2,77	Acido idroclorico	1,19
Ametista Orientale	2,65	Alcool	0,80
Quarzo	2,55	Acquavite	0,84
Marmo di Carrara	2,71	Essenza di trementina	0,76
Pomice	0,94	Olio di lino	0,94
Calce	1,52		

Idrodinamica. L'idrodinamica ha per oggetto lo studio delle leggi del movimento dei liquidi, e forma conseguentemente uno dei rami più importanti della meccanica razionale. Ma in alcuni particolari casi i movimenti dei liquidi sono sottoposti a delle leggi assai semplici da poter essere direttamente verificate coll'esperienza; ed è sotto il punto di vista puramente esperimentale che noi indicheremo i principj dell'idrodinamica. Per ora ci limiteremo a considerare i fenomeni del

movimento dei liquidi indipendentemente dalla pressione dell'atmosfera in cui si operano.

Movimento di un liquido nell'interno del recipiente durante l'efflusso. Quando un vaso *ABCD* (*Tav.* IV, *Fig.* 103) aperto e pieno di liquido è traversato inferiormente da un piccolo orifizio, il liquido scola. Le molecole liquide si muovono verticalmente nell' interno del vaso fino a qualche centimetro dall'orifizio, ma al di là di questa distanza si dirigono verso di esso. Ciò può facilmente osservarsi ponendo nel liquido dei corpi di piccolissimo volume e di una densità poco diversa dalla sua; per es. nell'acqua della segatura di legno o della ceralacca polverizzata. Inoltre siccome deve sempre passare nello stesso tempo la stessa quantità di liquido per tutti gli strati orizzontali del vaso, ad ogni istante la velocità media varia in ognuno di essi in ragione inversa della sua superficie; e nel vaso rappresentato dalla figura 104 la velocità varia in tutti gli strati, ed è al suo massimo nei punti *a e b*, e al suo minimo al punto *c*.

Durante lo scolo, il liquido di un vaso non è sempre terminato da una superficie orizzontale. Quando il getto sorte verticalmente da un orifizio situato nel fondo di un vaso e che il livello è disceso ad una piccola distanza dall'orifizio, il liquido si allontana dall'asse di questo e forma un imbuto, l'apice del quale corrisponde al centro dell'orifizio medesimo (*Tav.* IV, *Fig.* 105). Se il liquido avesse nel vaso un movimento di rotazione, l'imbuto si formerebbe più presto, come anche se il vaso avesse la stessa forma. Se l'orifizio fosse laterale non si formerebbe più un imbuto, ma la superficie del liquido proverebbe invece una depressione al di sopra dell'orifizio (*Tav.* IV, *Fig.* 106).

Questi movimenti dipendono dalla forma dei vasi, dall'altezza del liquido, dalla dimensione e dalla forma dell'orifizio.

Efflusso dagli orifizj di sottili pareti. Costituzione della vena liquida. La forma e la costituzione delle vene liquide formate da orifizj praticati in sottili pareti, sono state studiate da Savart, del quale andiamo ad esporre le osservazioni principali. Ogni vena liquida lanciata verticalmente dall'alto al basso da un orifizio circolare praticato in una sottil parete

piana ed orizzontale subisce una contrazione a poca distanza dall'orifizio; cioè a dire, la sua sezione comincia allora a diminuire. Questa contrazione seguita fino ad un certo punto dove la vena nuovamente si dilata. La porzione della vena compresa fra l'orifizio ed il punto di sua massima contrazione è calma, limpida, trasparente e simile ad una verga di cristallo. La porzione della vena che succede a questa è sempre agitata, torba e prende una forma assai regolare, nella quale si distinguono una serie di rigonfiamenti allungati, il cui diametro massimo è sempre più grande del diametro dell'orifizio. La figura 107 rappresenta una vena liquida, quale apparisce quando si osserva: *a n* ne è la parte limpida, *n v v'* è il principio della parte torba, la quale sembra comporsi di strozzature e di nodi alternati. In questa seconda parte della vena il liquido non è continuo, giacchè illuminando la vena con una luce istantanea qual sarebbe quella di una grossa scintilla elettrica, si vede formata di gocce staccate e di forma diversa. La continuità apparente della vena proviene da ciò che i globuli che la costituiscono si succedono nello stesso punto a degli intervalli di tempo più corti della durata di una sensazione sulla retina. La figura 108 rappresenta la vena fluida come è realmente; tutta la parte torba è composta di gocce distinte e separate le une dall'altre; i nodi essendo formati da delle larghe gocce schiacciate orizzontalmente, e le strozzature da delle gocce allungate nel senso verticale. Siccome succede che le strozzature ed i nodi occupano delle posizioni fisse, bisogna necessariamente che la stessa goccia *a*, che è schiacciata nei nodi, sia allungata quando giunge al punto in cui apparisce la prima strozzatura *n'*, che sia nuovamente piana al secondo nodo, allungata alla seconda strozzatura ec.; bisogna adunque che essa provi delle vibrazioni periodiche perfettamente regolari, che la facciano passare dall'una all'altra di queste forme. Tutte le gocce sembrano avere lo stesso diametro, e sembrano provare gli stessi cambiamenti.

Savart ha costatato che ogni goccia è prodotta da un rigonfiamento anulare che ha origine in molta vicinanza dell'orifizio e che si propaga sulla parte limpida della vena,

aumentando di volume fino al momento in cui se ne distacca. Questi rigonfiamenti sono prodotti da una successione periodica di pulsazioni. Il numero di queste pulsazioni è in ragion diretta della velocità di scolo, e in ragione inversa del diametro dell'orifizio. Questi rigonfiamenti allo staccarsi della vena producono le gocce che ne costituiscono la parte torba.

La costituzione delle vene lanciate orizzontalmente od anche obliquamente dal basso all'alto, non differisce essenzialmente da quella delle vene lanciate verticalmente dall'alto al basso; solamente il numero delle pulsazioni all'orifizio sembra divenire tanto minore, quanto più il getto si avvicina ad essere lanciato verticalmente dal basso all'alto.

Quando gli orifizj non sono circolari, la vena presenta dei cambiamenti di forma rimarchevolissimi. Per esempio da un orifizio quadro di 20 centimetri di lato, le sezioni della vena fatte alle distanze di 20, 30 e 40 centimetri sono rappresentate nella figura 109. Il numero 1 è l'orifizio, e i numeri 2, 3, 4 sono le sezioni della vena a 20, 30 e 40 centimetri dall'orifizio. La direzione della vena era orizzontale, perchè usciva da una parete verticale. Il punto *h* indica da per tutto la sua parte superiore.

Possiamo renderci conto abbastanza chiaramente della contrazione che prova la vena presso l'orifizio, e che sussiste qualunque sia la direzione del getto, ammettendo che all'orifizio stesso la velocità delle molecole sia varia, cioè maggiore per quelle del centro, e minore per quelle della circonferenza, venendo ivi diminuita dall'attrito contro le pareti del foro. Correndo più velocemente le molecole centrali dovrà la vena diminuire di diametro. Le direzioni estremamente variabili delle molecole che si rendono verso l'orifizio hanno pure indubitatamente una grande influenza sulla contrazione della vena.

Velocità dello scolo dagli orifizj praticati in sottili pareti. Quando un liquido scola da un orifizio qualunque, la velocità nulla nel primo istante si accresce in un modo continuo durante un certo tempo, dopo il quale diviene uniforme se il livello rimane costante o diminuisce se il livello si abbassa. Si può facilmente riconoscere che la velocità va crescendo fin dall'origine del movimento, forando orizzontalmente un

vaso. Si osserva (*Tav.* IV, *Fig.* 110), che il getto si stende orizzontalmente e prende successivamente le curvature *A A' A''*. Nello stesso modo si vede, che dopo un certo tempo, allo abbassarsi del livello del liquido, la velocità va diminuendo.

Per osservare invece che la velocità del liquido effluente diviene costante dopo un certo tempo, quando il livello riman costante, si può ricorrere ad apparecchi diversi. Il più comunemente adoprato è conosciuto coi nomi di *troppo pieno* e di *vaso a ribocco.* Consiste in una cassa o vaso qualunque *ABCD* che ha un foro di efflusso *o* nel fondo e un altro foro *d* verso il suo margine superiore. In questo recipiente cade di continuo dal vaso alimentare *R*, per mezzo di una valvola *s* applicata sul tubo *t*, una quantità d'acqua maggiore di quella che esce dal foro inferiore, cadendo sopra una specie di graticola *c c'* destinata a impedire ogni urto, ogni agitazione che potrebbe portare nella sua caduta alla massa liquida : l'eccesso dell'acqua scola dal foro superiore *d*. (*Tav.* IV, *Fig.* 111).

Si adopra anche il galleggiante di Prony, il quale si compone di un vaso di scolo *V* (*Tav.* IV, *Fig.* 112) e di due casse, una delle quali *C* galleggia sul liquido che scola, e l'altra *C'* unita con verghe di ferro alla cassa galleggiante è posta al di sotto del vaso di scolo e riceve tutto il liquido che ne esce. Per una tale disposizione vedesi facilmente che il peso che agisce sul galleggiante aumenta esattamente del peso dell'acqua scolata, e che il medesimo deve perciò immergersi maggiormente. E poichè per l'equilibrio dei corpi galleggianti, il peso del liquido spostato dev'essere eguale al peso del galleggiante stesso, ne avviene che la quantità di liquido nuovamente spostato sarà perfettamente eguale a quella scolata, e rimarrà così costante l'altezza del liquido nel vaso.

Dobbiamo a Torricelli un teorema che comprende tutte le leggi dello scolo dei liquidi, e che l'esperienza ha generalmente confermato. Il teorema di Torricelli si esprime nel modo seguente: *Le molecole di un liquido sortendo dall'orifizio di un vaso hanno la stessa velocità che avrebbero acquistato cadendo liberamente nel vuoto da un'altezza eguale alla distanza che v'è tra la superficie di livello e il centro dello orifizio.* La velocità *v* delle molecole cadute liberamente nel

vuoto da un'altezza h è espressa da una formola che si deduce in meccanica dalle formole generali del moto dei corpi pesanti. Questa formola è $v = \sqrt{2gh}$, in cui g, che ci rappresenta l'azione della gravità, è eguale a Parigi, come abbiamo veduto a $\overset{m}{9,8088}$.

$$\text{Perciò } v = \overset{m}{4,429}\sqrt{h}$$

Tale è secondo il teorema di Torricelli la velocità che debbono avere le molecole liquide nell'istante in cui traversano un orifizio, il cui centro è situato ad una profondità h, espressa in metri, al di sotto del livello.

Per verificare sperimentalmente questo resultato, basta disporre un apparecchio a livello costante, da cui il liquido scoli da un orifizio in sottil parete di una sezione nota s, e il cui centro sia ad una profondità nota h al di sotto del livello; poi osservare la *portata* ossia il numero dei litri che scolano, in un tempo determinato, per esempio in 8′ a 10′. Allora è facile dedurre la portata in un secondo, espressa in metri cubi. Questa portata, o piuttosto questo volume, può essere considerato come un cilindro che abbia per base la sezione dell'orifizio e che sia passato dall'orifizio stesso come un filo dalla filiera. Adunque chiamando d la portata in 1″, espressa in metri cubi, v' la lunghezza incognita di questo cilindro, si deve avere

$$s\,v' = d, \text{ da cui } v' = \frac{d}{s}$$

essendo la sezione s del cilindro espressa in metri quadrati.

È evidente che v' rappresenta la velocità effettiva delle molecole liquide, poichè rappresenta il numero dei metri che queste molecole percorrono in un secondo.

È dunque facile determinare se la velocità effettiva data dalla formola

$$v' = \frac{d}{s}$$

è uguale alla velocità teorica data dalla formola

$$v = \overset{m}{4,429}\sqrt{h}$$

Molte osservazioni di confronto hanno mostrato che la velocità effettiva dedotta dalla portata non corrispondeva a quella data dal teorema di Torricelli, dedotto da considerazioni di meccanica. In realtà la portata ottenuta colla esperienza è minore della portata data dal calcolo. Questa differenza dipende dal restringimento che subisce la vena liquida all'uscire dall'orifizio. Difatti per avere la velocità del liquido scolato, noi misuriamo la portata ritenendo per sezione della vena quella dell'orifizio, mentre è assai minore. L'esperienza prova che la vena liquida al massimo punto della sua contrazione è ridotta appunto a $\frac{3}{4}$ della sezione dell'orifizio, cioè a dire è diminuita nello stesso rapporto in cui si trova diminuita la portata effettiva da quella calcolata.

Dal teorema di Torricelli traggonsi le seguenti conseguenze, suscettibili di essere verificate dall'esperienza.

1.° Qualunque sia la densità del liquido che scola, purchè abbia una stessa altezza, la velocità sarà eguale in ogni caso e indipendente da questa densità. Facendo uscire del mercurio dell'acqua, dell'alcool, da recipienti in cui il liquido sia tenuto alla stessa altezza, la velocità che anima le molecole che escono sarà in tutti i casi la stessa; non però la pressione, la quale varia sempre colla densità del liquido che scola.

2.° Le velocità con cui scola un liquido a diverse altezze, stanno fra loro come le radici quadrate di queste altezze o profondità degli orifizj al di sotto della superficie del livello. Le velocità dei gravi sono appunto fra loro come le radici quadrate delle altezze da cui sono cadute. Si può verificare questa legge per mezzo di due vasi che abbiano nel centro del loro fondo lo stesso foro e in ognuno dei quali l'acqua sia mantenuta ad un'altezza costante. Uno di questi vasi sia quattro volte più alto dell'altro. Raccogliendo l'acqua che esce nello stesso tempo da ambedue, si osserva che da quello di cui l'altezza è quadrupla dell'altro esce un volume doppio di liquido; la velocità è quindi doppia, e perciò in ragione della radice quadrata dell'altezza della superficie di livello sul foro. Anche in questo caso però la pressione non dev'essere confusa colla velocità; essa è nel primo caso quadrupla dell'altra.

3.° Se il getto liquido s' innalzerà verticalmente, salirà ad un'altezza presso a poco eguale a quella del livello che ha il liquido nel recipiente da cui esce. Difatti sappiamo che un corpo cadendo acquista tanta velocità da risalire al punto da cui è partito. Questo fatto si può osservare coll'apparecchio destinato a mostrare la legge dello equilibrio dei liquidi nei tubi comunicanti. Lo zampillo di liquido che esce dal tubo più corto, si solleva all'incirca al livello del liquido negli altri tubi. Non giunge completamente allo stesso livello perchè vi sono diverse cause che glielo impediscono: tali sono l'attrito contro le pareti del tubo, la resistenza dell'aria e l'urto delle gocce del liquido che ricadono sul getto. Con questo principio delle acque salienti si dà spiegazione delle sorgenti artesiane. S' immagini un recipiente naturale di acqua nell' interno di una montagna, e si supponga che per una disposizione naturale e in alcuni luoghi molto frequente, questa raccolta scenda entro terra distendendosi orizzontalmente, ritenuta fra strati di materia impermeabile all'acqua. Se allora si farà un foro verticale che giunga fino a questa specie di condotto orizzontale, l'acqua salirà per quel foro artificiale fino all'altezza del recipiente con cui comunica, e perciò spesse volte assai al di sopra della superficie del terreno forato.

Dei tubi addizionali e della loro influenza sullo scolo. Chiamansi tubi addizionali dei tubi di diverse forme, o delle lastre curve forate in diverse guise, che si adattano agli orifizj delle sottili pareti per dar passaggio al liquido che scola. Il più semplice è quello che ha la forma esatta che prende la vena, dall'orifizio fino al punto di sua massima contrazione. Quando la sua superficie interna è ben levigata non esercita alcuna influenza sulla portata. Una lastra curva traversata da un orifizio non dà la stessa portata di una parete piana fornita di un orifizio della stessa grandezza; essa dà una portata maggiore quando la concavità è volta verso l'interno, ed una portata minore quando è volta verso l'esterno. Nei tubi addizionali cilindrici dello stesso diametro che gli orifizj in sottili pareti ai quali sono applicati, si producono dei fenomeni singolari. Talora la vena fluida rimane libera e passa

dal tubo senza toccarlo; talora diviene aderente e lo scolo si fa *a piena gola*. Nel primo caso la presenza del tubo addizionale non ha influenza nè sulla velocità nè sulla portata; esso non può produrre alcun effetto, perchè non ha punti di contatto col liquido. Nel secondo caso l'aderenza che si stabilisce fra la superficie della vena e le pareti del tubo, determina un aumento di velocità e di portata. Se la lunghezza del tubo addizionale non supera quattro volte il suo diametro, la portata è aumentata circa di $\frac{1}{3}$. Un tubo addizionale conico, che vada allargandosi nella direzione dello sgorgo, può dare un aumento di portata anche maggiore. L'aderenza che nasce fra la vena e le pareti dei tubi addizionali dipende dalla pressione del liquido. Se essa è troppo forte non ha luogo alcuna aderenza, e il liquido esce come se il tubo non esistesse. Ogni rigonfiamento, ogni irregolarità in un tubo addizionale conico o cilindrico produce una diminuzione assai considerevole nella portata dei liquidi. I tubi di picciol diametro diminuiscono molto più la portata di quelli di un diametro maggiore.

Scolo nei canali. Nei canali non accade lo stesso che nei tubi: i canali essendo aperti nella loro parete superiore non hanno alcuna influenza sulla portata. Un canale di forma qualunque fornisce nello stesso tempo la stessa quantità di acqua che riceve dal serbatoio all'altra sua estremità, e in conseguenza in una porzione qualunque del canale passa costantemente la stessa quantità d'acqua nello stesso tempo. Ne segue che la velocità del corso aumenta a misura che il canale si restringe, e diminuisce a misura che la sua larghezza aumenta; e poichè la velocità è dovuta alla gravità, essa aumenta coll' inclinazione del canale. Ma in una stessa porzione di canale, la velocità non è eguale per tutte le molecole; quelle situate a contatto delle pareti sono in ritardo a motivo dell'attrito contro di esse, e ritardano quelle che le avvicinano. Il massimo di velocità è alla superficie nel centro della corrente.

Pressioni che i liquidi in movimento esercitano sulle pareti dei tubi. Abbiamo veduto che i liquidi godono della proprietà di trasmettere in tutti i sensi la pressione; ma ciò non ha luogo

se non quando sono in riposo; quando sono in movimento muovonsi come i corpi solidi, e non trasmettono lateralmente la pressione, se non quando incontrano degli ostacoli al loro movimento. Da ciò deduccsi:

1.° Che quando un liquido esce per un tubo con tutta la velocità che deve avere in virtù dell'altezza di livello, non esercita pressione alcuna sulle pareti del tubo. Per convincersene basta fare un piccolo foro in dette pareti, e il liquido non sgorgherà punto per esso. Pure se il foro fosse fatto nella parete inferiore di un tubo orizzontale, un po'di liquido uscirebbe anche di lì in grazia della pressione che esercita la grossezza della colonna liquida.

2.° Quando un liquido esce per un tubo con velocità minore di quella che dovrebbe avere in virtù dell'altezza di livello, esercita pressione sulle pareti del tubo. Infatti se si pone qualche ostacolo nell'interno del tubo, il liquido zampilla per l'orifizio aperto lateralmente, e con una forza tanto maggiore quanto più è diminuita la velocità.

3.° Quando un liquido sgorga da un tubo con una velocità maggiore di quella che dovrebbe avere in virtù dell'altezza del livello, esercita una pressione negativa, ossia una vera aspirazione sulle pareti del tubo. Così qualora sia slargato come i tubi addizionali che più aumentano la portata, e si fori in un punto della parete, non solamente non uscirà il liquido per questo foro, ma trarrà seco il liquido che si trovi con esso a contatto sull'esterno del tubo.

Reazione prodotta in un vaso per lo scolo del liquido che contiene. Quando un liquido è in riposo in un recipiente, le pressioni sulle pareti opposte essendo eguali e contrarie si distruggono interamente, e non possono imprimere alcun movimento al vaso; ma se forasi la parete in un punto qualunque il liquido sgorgherà perpendicolarmente alla parete, ed il vaso sarà spinto in senso contrario dalla pressione sulla parete opposta all'orifizio, che non è più equilibrata dalla porzione della parete soppressa. Ciò infatti è facile a verificarsi sospendendo ad un filo *AB* un piccolo pallone *M* pieno di acqua e guarnito di una tubulatura *m* (*Tav.* IV, *Fig.* 113). Nell'istante che si permette al liquido di uscire, il vaso si

muove in senso contrario dell'efflusso, ed il filo *AB* s'allontana dal filo a piombo *AC* di una quantità tanto più grande, quanto più grandi sono il diametro dell'orifizio e la sua distanza dal livello interno del liquido. Lo stesso effetto può rendersi evidente trasformando il movimento di traslazione in un movimento rotatorio. Ciò si eseguisce per mezzo di una spirale fatta con un tubo di vetro, mobile intorno ad un asse, la quale termina in alto con un recipiente ed in basso con un sottile orifizio. Appena empita di acqua, comincia questo liquido a uscire, e la spirale si mette a rotare in direzione contraria a quella in cui esce il liquido.

Unità di misura nella distribuzione delle acque. Termineremo questi brevi cenni sui principj della Idrodinamica indicando qual'è l'unità di misura per le acque correnti. Essa è chiamata *Pollice d'acqua* o *Pollice de' Fontanieri*, e corrisponde alla quantità d'acqua che sgorga in un minuto da un orifizio circolare di un pollice di diametro fatto in una parete verticale e con un carico di acqua di sette linee dal centro dell'orifizio. Il volume d'acqua che scorre in tali condizioni è di 672 pollici cubi per minuto, lo che corrisponde a 19,2 metri cubi in 24 ore. Un mezzo pollice di acqua è la quantità di essa che sgorga da un orifizio di mezzo pollice di diametro colla stessa pressione; onde resulta che in volume o in peso il mezzo pollice è veramente un quarto di pollice, poichè sotto la medesima pressione un orifizio di un diametro metà di un altro dà una portata la quale è la quarta parte di quella che sgorgherebbe da questo.

Proprietà dello stato gassoso dei corpi.

Nei gas o corpi aeriformi, si è detto che la forza repulsiva del calorico vince la forza di attrazione delle loro molecole: perciò le molecole di questi corpi si respingono incessantemente, ed essi sono caratterizzati non solo dalla grande mobilità di cui sono dotati, ma ben anco dalla forza di espansione con cui tendono sempre ad estendersi e ad aumentare di volume.

I corpi aeriformi sono molti, e differiscono fra loro per delle proprietà, lo studio delle quali spetta alla chimica. Il

fisico esamina soltanto quelle proprietà che sono ad essi tutti comuni.

Peso e densità dei gas. I gas, come tutti i corpi, soffrono l'azione della gravità, e quindi sono pesanti. Ciò non apparisce immediatamente ai nostri sensi, ed ha bisogno di dimostrazione esperimentale. Si ottiene in generale il peso dei gas pesando un dato volume di gas in un recipiente, poi determinando il peso del recipiente vuoto. Il vuoto si fa per mezzo di una macchina che descriveremo fra breve, e che è conosciuta in fisica col nome di macchina pneumatica. Il recipiente che serve a queste esperienze è un pallone di cristallo munito di una ghiera metallica col robinetto. Con questo stesso metodo si può verificare il peso dell'aria atmosferica. Difatti quando si pesa un pallone pieno d'aria il peso che ottiensi è uguale a quello del pallone vuoto, più quello dell'aria interna, meno quello di un egual volume di aria spostata, e quindi è eguale al peso del solo pallone. Quando si pesa dopo aver fatto il vuoto nel suo interno, il peso che ottiensi è eguale al peso del pallone vuoto, diminuito del peso di un egual volume di aria spostata. È per questa ragione che tal diminuzione ci dà la misura esatta del peso del volume d'aria contenuto nel pallone.

Sembra ad un tratto che il peso dell'aria possa verificarsi anche per mezzo di una vescica guarnita di robinetto, pesandola successivamente vuota e piena di aria; ma è facile, con un po' di riflessione accorgersi che il peso non cangerebbe nelle due circostanze. Infatti quando la vescica è piena, il suo peso è eguale a quello dell'invoglio, qual sarebbe nel vuoto, più il peso dell'aria contenuta nella vessica, meno il peso del volume d'aria spostato; e quando essa è più o meno sgonfia, la diminuzione dell'aria interna essendo eguale alla diminuzione dell'aria spostata, e l'aria interna avendo la stessa densità della esterna, ne resulta necessariamente che il suo peso nell'aria è sempre lo stesso, qualunque sia la quantità d'aria che contiene.

Per determinare la densità dei gas si è convenuto di riferirla a quella dell'aria atmosferica presa sotto una data pressione e alla temperatura del ghiaccio che si fonde. Que-

ste due condizioni sono necessarie perchè vedremo che al variare di esse variano le densità dei gas. Sembra dopo ciò che per determinare la densità di un gas, bisogni conoscere i pesi d'uno stesso volume di aria e di gas, presi ambedue alla temperatura di o e sotto la pressione atmosferica normale; ma noi vedremo in seguito che i gas variano tutti egualmente di volume per gli stessi cambiamenti di temperatura e di pressione; perciò la densità di un gas è eguale al rapporto dei pesi di uno stesso volume di gas e d'aria alla stessa temperatura e alla stessa pressione. Il peso di un litro di aria alla temperatura di 0° e sotto la pressione di un'atmosfera è eguale a grammi 1,299. D'altronde si sa che un litro d'acqua ha il peso di grammi 1000; perciò l'aria alla temperatura di zero è 770 volte più leggiera dell'acqua al suo massimo di densità, cioè a 4°. Dato questo peso di un litro d'aria è chiaro che può aversi il peso di un litro di ogni altro gas, moltiplicando il detto numero per la densità del gas. Difatti chiamando D questa densità, ed x il peso cercato, poichè a volumi eguali le densità sono proporzionali ai pesi, potremo stabilire questa proporzione

$$1 : D = 1{,}209 : x$$

$$\text{da cui, } x = 1{,}209 \times D$$

Perciò per un gas, di cui la densità sia eguale a 0,0688, essendo 1 quella dell'aria, il peso di un litro sarà grammi 0,089. Questo gas è l'idrogeno.

Il metodo pratico per la determinazione della densità dei gas è semplicissimo. Consiste nel pesare un pallone di otto a dieci litri, vuoto e successivamente pieno di aria e dei differenti gas. Il pallone dev'essere fornito di un robinetto perfettamente lavorato affinchè conservi il vuoto. È indispensabile operare sopra un volume un po'considerevole a motivo della leggerezza dei gas. Se la capacità del pallone fosse di soli due o tre litri, gli errori avrebbero troppa influenza sui resultati. Siccome non è possibile di spingere il vuoto al di là del millimetro, è utile di fare nuovamente il vuoto dopo l'introduzione del gas disseccato. I gas debbono essere disseccati prima d'introdurli nel pallone. La figura 114 *Tav.* IV indica la disposizione dell'apparecchio. M è il pallone vuoto, B è la

campana che riceve il gas, la quale è piena di mercurio e riposa sopra un bagno dello stesso liquido. *CD* è il tubo contenente la materia disseccante, la quale consiste in cloruro di calcio fuso; il gas vi passa attraverso per introdursi nella campana. Aprendo i robinetti *R* ed *R'*, da questa passa nel pallone. Si fa penetrare nella campana nuova quantità di gas, finchè il livello del liquido resti lo stesso, tanto nel suo interno che all'esterno, e ciò perchè la pressione cui è sottoposto il gas sia eguale a quella dell'atmosfera.

Sia p il peso del pallone vuoto, P il peso del pallone pieno di aria; $P-p$ sarà il peso dell'aria contenuta. La stessa esperienza fatta sopra un altro gas, ci darà $P'-p$ per il peso del medesimo; e poichè le densità sono proporzionali ai pesi sotto gli stessi volumi, prendendo per unità la densità dell'aria avremo

$$1 : d = P-p : P'-p,$$

$$\text{da cui } d = \frac{P'-p}{P-p}$$

Per ciò che abbiamo detto è evidente che se la determinazione del peso de'volumi eguali dell'aria e dell'altro gas si fa sotto la stessa temperatura e pressione, il resultato dell'esperienza non avrà d'uopo di correzione. Ma se il peso dell'aria contenuta nel pallone, lo ricaviamo da quello del suo litro alla temperatura di 0° ed alla pressione di 0,^{m} 76, è chiaro che dovremo ridurre anche il peso del gas trovato coll'esperienza a quello che sarebbe in quelle stesse circostanze. Vedremo fra breve come si operi questa riduzione. Ecco intanto la densità trovata di differenti gas.

Nomi dei Gas.	Densità
Aria	1, 00000
Ossigeno	1, 10563
Idrogeno	0, 06886
Azoto	0, 97137
Cloro	2, 45000

Forza espansiva dei gas. Poichè le molecole di un gas si respingono di continuo, è necessario che premano contro le pareti del recipiente in cui sono contenute; perciò quando si faccia un foro in detto recipiente tutto il gas dovrebbe usci-

re. Ne resulterebbe che tutti i vasi sarebbero vuoti quando avessero un'apertura qualunque. Ciò in realtà non accade, poichè sappiamo che un vaso aperto si conserva pieno di aria, a meno che per discacciarla non vi si versi dell'acqua o un altro liquido. Vediamo adunque come ciò avvenga. Immaginiamo per es. un vaso di un litro di capacità e chiuso da tutte le parti: se fosse vuoto e che vi si facesse un'apertura, l'aria esterna vi si precipiterebbe all'istante per riempirlo; ma quando v'ha dell'aria al di fuori come al di dentro, l'aria esterna per entrare nel vaso fa uno sforzo grande quanto quello che fa l'aria interna per uscirne; e fra queste due pressioni eguali e contrarie l'equilibrio sussiste, tanto nei punti in cui il vaso è aperto, come in quelli in cui è chiuso dalle pareti. È dunque l'aria esterna che arresta la forza repulsiva dell'aria interna.

L'equilibrio di queste pressioni è sì rimarchevole che merita di essere dimostrato con esperienze dirette. Sotto il recipiente della macchina pneumatica si pone una vescica che contenga un poco d'aria; si comincia a fare il vuoto e si vede la vescica che si gonfia sempre più, fino ad acquistare tutto il volume di cui è suscettibile. Se si lascia di nuovo entrar l'aria, la vescica riprende all'istante il suo primo volume. Nel primo caso tolta la pressione esterna che bilanciava quella dell'aria dell'interno della vescica, quest'aria si dilata incessantemente; ristabilita la solita pressione esterna l'aria dell'interno della vescica riprende il suo primitivo volume.

Se si prende un vaso di vetro il cui fondo superiore consista in una membrana legata intorno ad esso, e si faccia il vuoto nel suo interno, si vedrà ai primi colpi di stantuffo la membrana incurvarsi verso l'interno del cilindro, come se una forza esterna la premesse in quel senso, e seguitando ad estrarre l'aria la membrana finirà per rompersi. Questa forza che rompe la membrana e che gonfia la vescica sotto la campana della macchina pneumatica è una forza considerevole. Ci possiamo fare un'idea del valore di questa forza per mezzo dei così detti *Emisferi di Magdebourg*, i quali consistono in due emisferi di ottone che s'innestano esattamente l'uno sull'altro, e dai quali si può estrarre l'aria che rimane rac-

chiusa fra loro. Appena è fatto il vuoto nell'interno dei due emisferi una forza enorme occorre per separarli, e può facilmente provarsi che questa forza è dovuta alla pressione dell'aria esterna, sospendendo i due emisferi nell'interno di una campana da cui possa estrarsi l'aria. Appena il vuoto è fatto, essi separansi, e l'inferiore cade pel proprio peso. Lo stesso accadrà girando il robinetto di cui sono forniti, e introducendo dell'aria nel loro interno. Questa pressione dell'atmosfera sulla superficie esterna dei due emisferi nel cui interno si è fatto il vuoto, agisce non solo dall'alto al basso e dal basso all'alto, ma in ogni altra direzione ancora. Infatti basta svitarli dalla macchina pneumatica dopo aver chiuso il robinetto destinato a conservare in essi il vuoto, e provare a distaccarli, ponendoli orizzontalmente, o in qualunque altra posizione; in ogni caso si risentirà sempre la stessa resistenza.

Ciò che si è detto dell'aria deve riferirsi a qualunque altro gas. Un gas qualunque contenuto in un recipiente aperto non ne esce fintantochè l'atmosfera in cui è racchiuso è formata da un gas della stessa densità, perchè le pressioni del gas interno e dell'esterno saranno eguali e si bilanceranno. Se il gas interno sarà meno denso dell'esterno, quest'ultimo, in virtù della sua maggiore pressione, prenderà il posto del primo nel modo stesso che se fosse un liquido. Per questa ragione si potrà empire di gas acido carbonico un recipiente qualunque pieno di aria, facendo sgorgare quel gas sul fondo di esso.

La forza espansiva dei gas è anche distinta coi nomi di *forza elastica*, *elasticità* e *tensione*.

Compressibilità dei gas. Poichè l'aria ed i gas sono elastici e tendono ad espandersi incessantemente a mano a mano che si diminuisce la pressione che agisce su di essi, deve necessariamente accadere che aumentando questa pressione il loro volume diminuisca e la loro densità aumenti; in una parola essi debbono comprimersi. È questo un fatto che è pure assai facile dimostrare coll'esperienza. Basta servirsi di un tubo di vetro o di metallo chiuso ad una estremità, entro cui si muova esattamente uno stantuffo. Abbassando lo stantuffo, l'aria si comprime nel tubo, e lo stesso accadrebbe a qualunque altro

gas che si sottoponesse all'esperienza. Questo esperimento prova inoltre un altro fatto importante su cui torneremo più a lungo, ed è che a misura che l'aria ed i gas si comprimono, la loro forza elastica, o pressione contro le pareti del tubo, va sempre crescendo. Difatti nell'abbassare lo stantuffo si proverà uno sforzo tanto maggiore, quanto più lo stantuffo sarà in basso, e quindi quanto maggiore sarà la compressione. È alla compressibilità ed alla elasticità dell'aria che i palloni di pelle ripieni di questo fluido rimbalzano sul terreno quando vi cadono da una certa altezza.

I *gas comunicano le pressioni egualmente in tutti i sensi*. Questa proprietà dei gas può esser messa in evidenza per mezzo dell'apparecchio rappresentato dalla figura 115 della Tav. IV. *AB* è un cilindro nel quale si muove uno stantuffo; *M* è un serbatojo pieno di aria che comunica col corpo di pompa, e la parete del quale è traforata da un gran numero di aperture che ricevono dei tubi ricurvi contenenti lo stesso liquido; quando si discende lo stantuffo l'aria compressa stabilisce in tutti i tubi la stessa differenza di livello. Perciò quando dell'aria è contenuta in un vaso, e che si esercita su di essa una pressione qualunque, essa trasmettesi egualmente su tutti i punti delle pareti del vaso.

Condizioni d'equilibrio dei gas. Pei gas la sola condizione d'equilibrio, si è che la loro forza elastica sia distrutta dalla resistenza delle pareti, e sia eguale in tutta l'estensione di un medesimo strato orizzontale. Difatti in un vaso qualunque *ABCD* (*Tav.* IV, *Fig.* 116) tutti i punti dello strato orizzontale *cd* devono avere la stessa elasticità, giacchè bisogna che la forza repulsiva delle molecole che sono in *b* possa bilanciare la forza repulsiva delle molecole che sono in *b'*; e queste forze non possono farsi equilibrio a meno che non sieno eguali in tutti i punti dello strato *cd*. Lo stesso accadrà in tutti gli altri strati orizzontali che si potranno concepire, sia al disopra sia al di sotto di *cd*; ma è però evidente che lo strato *mp*, per esempio, è maggiormente premuto di *cd* perchè sopporta prima tutta la pressione che si esercita su *cd* e che gli è trasmessa pel principio d'eguaglianza di pressione, e inoltre sopporta ancora tutto il peso dell'aria che è compressa

nella colonna *cdmp*, e che pesa liberamente su di esso come una colonna liquida pesa sul fondo di un vaso. La condizione della stabilità dell'equilibrio è pure la stessa che nei liquidi, e per le stesse ragioni: l'equilibrio è stabile quando la densità degli strati inferiori è più grande di quella dei superiori.

Questa legge dell'equilibrio dei gas è una legge universale per tutte le masse gassose, comunque piccole o grandi possano essere; essa applicasi all'aria contenuta in un grande edifizio, come a quella contenuta in un piccolo vaso; si applica a tutta la colonna d'aria atmosferica che riposa sopra una vasta pianura, come a quella immensa massa di aria che circonda la terra da tutte le parti, che ruota insiem con essa, e in cui sono immersi tutti i corpi esistenti alla superficie terrestre, in una parola all'atmosfera.

Si concepisca ad un'altezza qualunque, per esempio all'altezza del Monte Bianco, uno strato atmosferico che circondi la terra e che sia parallelo alla superficie delle acque; converrà per l'equilibrio che tutti i punti di questo strato sopportino da per tutto la stessa pressione, a Firenze come agli antipodi, sul continente come sul mare, e nelle regioni dei poli come in quelle dell'equatore. Un secondo strato parallelo a quello, ma cento metri più basso, dovrà per la stessa ragione avere tutti i suoi punti egualmente premuti, e tutti si troveranno premuti maggiormente di quelli del primo strato, dell'intiero peso della colonna d'aria alta cento metri che sopportano di più. Così ad altezze eguali la pressione è la stessa, ma diminuisce a misura che ci solleviamo.

Poichè l'aria oppone alla pressione cui è sottoposta la sua forza elastica, convien concludere che negli strati inferiori dell'atmosfera, crescendo le pressioni, crescano pure le forze elastiche con cui l'aria resiste. Da ciò si concepisce facilmente come una piccola massa di aria, qual sarebbe quella contenuta in un vaso di piccole dimensioni, possa premere con la stessa forza di tutta la colonna dell'atmosfera. Ciò avviene perchè la forza elastica dell'aria contenuta nel piccolo vaso è aumentata nello stesso rapporto della pressione che sopporta.

I gas non possono avere come i liquidi una superficie libera sulla quale alcuna pressione non si eserciti, giacchè

abbiamo detto che è necessario un ostacolo per arrestare la loro forza espansiva che è indefinita. Dopo ciò si potrebbe concludere che l'atmosfera non abbia un limite, poichè le sue molecole non trovando ostacoli che le trattengano, ed essendo sempre spinte dalla loro forza elastica, dovrebbero precipitarsi nel vuoto e andare sempre più dissipandosi fino a riempire l'immenso spazio del cielo. Perciò l'aria sarebbe da per tutto; essa circonderebbe la terra e la luna, il sole e i pianeti, e formerebbe attorno di essi delle atmosfere analoghe a quella che circonda la terra. Si dimostra nell'ottica che i fenomeni osservati non giustificano queste conclusioni. Perciò si è ammesso che l'atmosfera abbia un limite, e si calcola che sia all'altezza di circa 50,000 metri. La causa di questo limite sembra consistere nell'attrazione terrestre, la quale alla considerevole distanza cui sono portate le molecole aeree a quella grande altezza, bilancerebbe la loro forza repulsiva.

Misura della pressione atmosferica. Poichè l'atmosfera circonda la terra, essa ne preme egualmente tutti i punti, sia sulla superficie delle acque come sui continenti. Vediamo qual'è la pressione della colonna d'aria che gravita su di ogni punto della terra.

Supponiamo che un tubo sia immerso con una delle sue estremità in un vaso pieno di acqua (*Tav.* IV, *Fig.* 117) : il liquido si pone allo stesso livello nel tubo e nel vaso, perchè la pressione atmosferica è la stessa nell'interno del tubo in *cd*, ed all'esterno sulla superficie *ab*. Ma se si aspira una porzione dell'aria contenuta nel tubo, il liquido sale come se fosse esso pure aspirato ; sale sempre più, a misura che l'aspirazione continua ; s'arresta al suo cessare, e la colonna sollevata resta sospesa nell'interno del tubo. Questa esperienza, la quale non è che un giuoco da fanciulli, ci darà il mezzo di misurare la pressione atmosferica e di trovare il peso totale dell'aria, come se noi potessimo porre tutta l'atmosfera in una bilancia. Aspirando l'aria si diminuisce la pressione che si esercita nell'interno del tubo, senza cambiare minimamente la pressione esterna ; questa, essendo allora più forte, obbliga il liquido a salire fino a che la condizione di equilibrio sia stabilita, cioè a dire finchè la pressione sia la stessa su tutti i punti del me-

desimo strato, tanto nell'interno in *cd*, che all'esterno in *ab*. Nel momento che queste pressioni sono eguali il liquido cessa di salire; ma la pressione interna che si esercita su *cd* si compone di due parti: della pressione dovuta al peso della colonna liquida sollevata e della pressione dovuta alla elasticità dell'aria che rimane al di sopra della sommità di questa colonna. Così diminuendo sempre più l'elasticità dell'aria, la colonna di acqua s'innalzerà sempre più, ed infine se si toglie completamente l'aria, bisognerà che s'innalzi a tal punto che essa sola prema *cd* colla stessa forza colla quale l'atmosfera preme sopra *ab*. Converrà dunque, che il peso di questa colonna d'acqua sia eguale al peso d'una colonna d'aria della stessa base avente per altezza tutta l'altezza dell'atmosfera, giacchè su di ogni centimetro quadrato l'aria e l'acqua non premono che pel loro peso. Ecco adunque il mezzo di pesare una colonna atmosferica, qualunque sia la sua altezza. Tutto si riduce a trovare un tubo sufficientemente lungo e a toglierví completamente l'aria.

La determinazione del peso dell'atmosfera devesi al celebre Torricelli discepolo del Galileo. Ecco come ebbe origine questa importante scoperta. Alcuni fontanieri di Firenze, avendo fabbricato delle trombe per inalzare l'acqua ad altezze assai considerevoli, osservarono con sorpresa che questo liquido non saliva più in alto di dieci metri. Ricorsi al Galileo per avere la spiegazione di siffatto fenomeno, ne ebbero in risposta, che la natura aveva orrore al vuoto fino ad un certo punto; ma egli è provato che il grande filosofo non era convinto di quanto avea risposto, e che meditando su quel fenomeno dubitò che la pressione dell'atmosfera ne fosse la causa. Il Torricelli di ciò convinto, giunse a dimostrarlo nel modo il più evidente, mediante un'argomentazione altrettanto semplice quanto ingegnosa. Egli riflettè che se realmente la pressione atmosferica sollevava l'acqua nei tubi delle trombe fino all'altezza di 10 metri, doveva sollevare ad altezze minori dei liquidi di maggior densità, giacchè onde due colonne di liquido diverso esercitino la stessa pressione sopra una medesima base, è necessario che le loro altezze sieno in ragione inversa della loro densità; talchè se l'acqua s'inalzava di 10 metri, il mercurio, quasi 14 volte più denso, doveva inalzarsi ad un'altezza

14 volte minore, cioè a dire di circa 28 pollici. L'esperienza verificò infatti il suo ragionamento. Egli prese un tubo di vetro di un metro di lunghezza, chiuso ad un estremo, lo riempì di mercurio, e dopo averlo chiuso con un dito lo capovolse verticalmente per immergerne l'estremità in un bacino pieno dello stesso liquido. Tosto che tolse il dito, il mercurio interno discese di varj centimetri, quindi arrestossi per l'equilibrio stabilitosi, e la colonna liquida che rimase sospesa nel tubo era realmente alta circa 28 pollici, ossia 76 centimetri. Questa celebre esperienza fu fatta nell'anno 1643.

L'apparecchio così costruito è il noto istrumento, distinto col nome di *Barometro.* Il vuoto che resta al di sopra della colonna barometrica chiamasi *vuoto barometrico* o *vuoto torricelliano.* L'*altezza barometrica* è l'altezza verticale della sommità *s* della colonna al di sopra del livello *ab* (*Tav.* IV, *Fig.* 118). Essa non è la stessa in tutti i luoghi, ma sulle rive del mare è ordinariamente di 76 centimetri. Questa è l'altezza normale alla quale si riferiscono tutte le altre.

Pascal ebbe poco dopo l'idea di costruire un barometro ad acqua, e ne fece l'esperienza a Rouen nel 1646; il suo tubo aveva 46 piedi di lunghezza; e poichè allora non si conosceva il modo di toglierne l'aria, lo fece turare da un lato, lo riempì di vino e chiuse l'altro estremo con un tappo. Allora per mezzo di corde e di pulegge, il tubo fu raddirizzato verticalmente, e l'estremità inferiore fu immersa in un vaso pieno di acqua. Nel momento che si tolse il tappo che lo teneva chiuso, la colonna liquida si abbassò nel tubo fino a che la sua cima non fu circa dieci metri al di sopra del livello dell'acqua del vaso. Nei quattordici piedi che rimanevano al di sopra non vi era aria, ma vuoto. Perciò la colonna liquida faceva essa sola equilibrio alla pressione atmosferica; d'onde segue che una colonna d'acqua o di vino di 10 metri di altezza pesa quanto una colonna d'aria della stessa base. Perciò ogni punto della superficie della terra è premuto come se fosse ricoperto da uno strato di acqua di 10 metri di altezza; e noi che viviamo nel fondo di quest'oceano di aria, siamo premuti da tutte le parti come se fossimo nel fondo di un lago con 10 metri di acqua al di sopra del livello delle nostre teste.

Se adunque l'altezza della colonna barometrica misura realmente la pressione atmosferica, là dove questa pressione è minore detta colonna dovrà abbassarsi. Pascal fu il primo che trasse questa deduzione, e che la verificò coll'esperienza, salendo sull'alto del Puy-du-Dome con un barometro di Torricelli. Egli osservò che la colonna barometrica si abbassava a mano a mano che saliva in alto. Molte altre esperienze confermarono in seguito questo resultato. Saussure trovò sulla cima del gran monte San Bernardo che la colonna del barometro non era più alta di 57 centimetri, e Gay-Lussac, nella sua celebre ascensione areostatica, s'innalzò fino ad osservare la colonna del barometro alta 32 centimetri.

Dopo quanto si è detto sarà facile intendere come possa valutarsi in chilogrammi la pressione atmosferica. Difatti sopra un centimetro quadrato di base la colonna di mercurio, che fa equilibrio al peso dell'atmosfera, ha un volume di 76 centimetri cubici. Moltiplicando questo volume per la densità del mercurio si avrà il peso della colonna di aria che gravita sopra un centimetro quadrato. La densità del mercurio, presa quella dell'acqua eguale ad 1, è di 13,59; perciò si ottiene un chilogrammo e trentatre milligrammi. Questo peso ci esprime adunque la pressione atmosferica sopra un centimetro quadrato, da cui si potrà dedurre l'intiero peso di tutta l'atmosfera, moltiplicandolo pel numero dei centimetri quadrati che formano la superficie della terra. Si ha in tal guisa che il peso dell'atmosfera è di circa 100,000,000,000,000,000,000 di chilogrammi.

Potremo con egual facilità valutare l'effetto della pressione atmosferica sulla superficie del corpo umano. Si calcola la superficie media del corpo umano di circa 12,000 centimetri quadrati; ond'è che la pressione totale dell'atmosfera che gravita sopra di noi è in termine medio di 12,000 chilogrammi. Il nessun effetto di questa grande pressione sul nostro corpo, e specialmente sui nostri movimenti, dipende dall'eguaglianza di questa pressione in tutti i sensi, per cui i suoi effetti si contrabbilanciano mutuamente, e dalla reazione eguale e contraria dei fluidi stessi contenuti nel nostro corpo. Ed infatti si rende sensibile l'effetto della pressione atmosferica chiudendo con una mano il foro del tubo di una macchina pneumatica

mentre se ne estrae l'aria: tosto si prova una resistenza considerevole a ritirare la mano. Che poi i fluidi elastici del nostro corpo si oppongano alla pressione atmosferica, è facile persuadersene osservando semplicemente ciò che accade nell'applicazione di una ventosa: la carne è spinta nello spazio della ventosa in cui l'aria è rarefatta. Tale è pure la causa delle emorragie che avvengono ascendendo rapidamente una montagna molto elevata, o sollevandosi in un pallone nelle alte regioni dell'atmosfera.

Costruzione del Barometro. Si danno al barometro delle forme diverse secondo l'uso al quale si destina, ma vi sono delle condizioni generali di esattezza che bisogna sempre adempire, qualunque sia la forma che si adotta. Esse riduconsi alle seguenti:

1.° Conviene che il mercurio sia perfettamente puro, onde abbia la sua esatta densità.

2.° Bisogna che il vuoto sia perfetto al di sopra della sommità della colonna barometrica, giacchè se restasse un poca d'aria in questo spazio, o se vi fosse qualche vapore, si avrebbe in essi una forza elastica che agirebbe continuamente per abbassare il mercurio, e gl'impedirebbe di salire al suo vero livello.

3.° Quando la colonna sale o discende nell'interno del tubo, la superficie esterna s'abbassa o s'inalza, e fa d'uopo disporre l'apparecchio in guisa che ad ogni istante si possa misurare la vera altezza del barometro; cioè a dire l'altezza verticale del livello interno al di sopra dell'esterno.

Per avere del mercurio purissimo bisogna estrarlo dal suo solfuro o cinabro. Può anche ottenersi distillando il mercurio in storte di ferro, o purificandolo per mezzo dell'acido solforico o dell'acido nitrico, che sciolgono a preferenza gli altri metalli con cui suol essere mescolato.

Per ottenere il vuoto barometrico nel modo il più esatto possibile, conviene spogliare il mercurio dell'acqua e dell'aria che vi aderiscono con tenacità, e ciò deve ripetersi anche per le interne pareti del tubo. A quest'oggetto s'introduce il mercurio nel tubo per un terzo della sua lunghezza, e poi disteso il tubo con una certa inclinazione sopra una graticola di fer-

ro, si circonda di carboni accesi e si fa bollire per qualche tempo. S'introduce allora una nuova porzione di mercurio, avendo cura di riscaldarlo prima d'introdurlo, onde non fare scoppiare il tubo, e si ricomincia l'ebullizione su tutta la lunghezza di questa nuova colonna; si aggiungono così delle nuove quantità di mercurio che si fanno successivamente bollire fino a che l'ebullizione abbia percorso tutta la lunghezza del tubo, o presso che tutta. Allora si termina di riempirlo con del mercurio bollito, poi dopo il raffreddamento si rovescia in un pozzetto pieno di mercurio. Per verificare se nel rovesciamento si sia lasciata entrare qualche bolla d'aria, bisogna inclinare il tubo un poco vivamente onde il mercurio venga a urtarne la sommità; se produce un colpo secco si può ritenere che il vuoto sia sufficientemente ben fatto; altrimenti l'operazione è andata a vuoto. Importa di non far bollire troppo lungamente il mercurio nel tubo; perchè in quel caso si forma una certa quantità di ossido, il quale rende un po'viscoso il mercurio e più facile a aderire alle pareti del tubo. Allora la colonna del mercurio non è più terminata da una superficie convessa, ma da una superficie piana o concava, che produce un maggiore inalzamento della colonna.

Allorchè l'apparecchio è a questo punto costruito non riman più che fissare presso il tubo una scala esattamente divisa in centimetri e millimetri, e di cui lo zero corrisponda al livello del mercurio nel pozzetto. Bisogna però osservare che essendo questa scala fissa, allorquando per una causa qualunque la colonna del barometro sale o si abbassa, il mercurio si abbassa o sale corrispondentemente nel pozzetto; e lo zero della scala si trova ora sopra ed ora sotto al livello reale del mercurio nel pozzetto. È perciò necessario di ricondurre costantemente allo zero della scala questo livello. Si può giungere in diversi modi a questo resultato.

Vi si può giungere adoprando pozzetti il cui diametro sia molto più grande di quello del tubo. Difatti supponiamo un pozzetto il cui diametro sia 100 volte quello del tubo; la superficie di una sezione orizzontale del pozzetto sarà 10,000 volte quella del tubo. In questo caso supponiamo che il mercurio discenda nel tubo di 5 centimetri; il mercurio uscito

dal tubo entrerà nel pozzetto, e farà salire il livello di $\frac{5}{10000}$ di centimetro, cioè a dire di $\frac{1}{2000}$ di centimetro o $\frac{1}{200}$ di millimetro, la qual variazione può considerarsi insensibile. Ora non accade mai che in uno stesso luogo la colonna barometrica s'innalzi o si abbassi più di 5 centimetri; anzi le sue variazioni non raggiungono mai questo limite.

Si può anche ottenere lo stesso resultato, facendo mobile il fondo del pozzetto, come ha immaginato Fortin. Il fondo del pozzetto è di pelle, e contro di esso preme una vite; un galleggiante indica se il livello del mercurio ha cambiato, e si riconduce alla sua primitiva posizione alzando o abbassando il fondo colla vite.

In un barometro costruito con le precauzioni indicate rimangono ancora delle cause di errore che importa di ben conoscere ed imparare a togliere. Consistono nella capillarità e nelle variazioni del peso della colonna di mercurio, prodotte dai cambiamenti di temperatura.

Noi conosciamo come la capillarità può alterare l'altezza della colonna barometrica: la superficie convessa di questa colonna produce una forza di depressione che si aggiunge al peso della colonna per bilanciare parte del peso della colonna atmosferica. Può diminuirsi l'effetto della capillarità adoprando dei tubi di grosso calibro. Nel caso poi di un tubo ristretto basterà di conoscere il suo diametro interno per sapere qual depressione è prodotta dalla capillarità, e qual colonna va aggiunta per avere l'altezza totale dovuta alla pressione atmosferica. In un tubo di cui il diametro interno è di 20 millimetri, la depressione prodotta dalla capillarità non è che di $\frac{38}{100}$ di millimetro. Nei grandi trattati di fisica trovansi le tavole necessarie per fare le correzioni che dipendono dalla capillarità dei tubi. L'influenza delle variazioni di temperatura sulla colonna barometrica è evidente: il calore dilatando il mercurio deve diminuirne la densità, per cui la colonna aumenterà di lunghezza al crescere della temperatura, e diminuirà nel caso contrario, supposta la pressione atmosferica costante. Perciò le altezze barometriche non possono essere paragonabili fra loro, se non quando sono prese alla stessa temperatura. Vedremo nel trattato del calore, come i resultati ottenuti a diverse tempera-

ture possano essere ridotti alla temperatura di 0°, che è quella communemente adottata per rendere i resultati dell'esperienza paragonabili fra loro.

Oltre i barometri a pozzetto, che abbiamo descritti fin qui, vi sono i così detti *Barometri a sifone*, i quali sono specialmente adoprati nei viaggi. Questi barometri consistono in tubi, la cui parte inferiore è ricurva ad *U*, come si osserva nella figura 119. Il braccio aperto di questi tubi fa da pozzetto. In questi barometri tanto il tubo che il pozzetto sono provvisti di scale i cui zero sono situati sulla stessa linea orizzontale, e per mezzo di esse si può determinare la differenza di livello del mercurio nei due tubi. Si può anche fare una sola scala mobile per far sempre coincidere il suo zero col livello del mercurio nel braccio più corto.

I *Barometri a quadrante* sono modificazioni dei barometri a sifone. Sul mercurio del braccio aperto del tubo v'ha un galleggiante di ferro *a* fissato ad un filo di seta (*Tav.* IV, *Fig.* 120), che si avvolge intorno ad una piccola puleggia mobilissima *b*, ed è teso da un contrappeso *c*. La puleggia è fissa nel centro di un quadrante *MN* situato anteriormente al barometro, e sul suo asse è fissato un ago che si muove sulla faccia anteriore del quadrante. Quando il mercurio sale o discende nel tubo *AB*, discende o sale nel pozzetto, e siccome trascina seco il galleggiante, la puleggia gira e fa muovere l'ago con essa. È facilissimo di graduare questo istrumento, in modo che la vera altezza barometrica in un dato istante sia indicata dall'estremità dell'ago.

Barometro di Gay-Lussac. Dobbiamo a Gay-Lussac una modificazione importante che rende portabile e comodissimo il barometro a sifone. Nel barometro di Gay-Lussac il braccio corto e la parte superiore del braccio lungo sono dello stesso calibro, e riunite fra loro per mezzo di un sottilissimo tubo (*Fig.* 121), nel quale il mercurio resta sospeso quando l'istrumento è rovesciato per essere trasportato nei viaggi. Il braccio corto non è aperto che per mezzo di un foro capillare *a*, capace di fare entrare liberamente l'aria, ma atto ad impedire l'uscita del mercurio, per cui può rovesciarsi senza timore che il mercurio ne esca.

Onde impedire che, dopo aver tenuto l'istrumento rovesciato nel riaddirizzarlo per fare una osservazione, l'aria penetri nel braccio chiuso e giunga alla sommità della colonna di mercurio per deprimerla, Bunten ha immaginato una disposizione ingegnosa rappresentata dalla fig. 122, ove si vede sopra una scala più grande il braccio aperto e solamente la parte inferiore del braccio chiuso. Si vede nel fondo di questa un rigonfiamento *bd*, nel quale penetra un tubo conico molto sottile *c*, che è la prolungazione del tubo capillare *mn*. Per siffatta disposizione se dell'aria si presenta per salire nel vuoto, non può penetrare dalla punta *c*, ma va a fermarsi nei gomiti *b* ed *e* del rigonfiamento. Quando si osserva che vi se ne è raccolta una certa quantità, si fa uscire capovolgendo il tubo. In questo barometro non v'è correzioni da fare per la capillarità perchè i due bracci sono eguali.

Le variazioni nell'altezza barometrica si misurano in questo istrumento per mezzo di due scale aventi lo zero a comune, le quali servono l'una pel braccio lungo e l'altra pel braccio corto. Sottraendo le altezze delle due colonne l'una dall'altra si ha quella che misura la pressione atmosferica. Si usa oggi di porre lo zero delle due divisioni al di sopra del livello del pozzetto, e in questo caso partendo le due scale da una linea intermedia *pg* (*Tav.* IV, *Fig.* 121), basta sommare le indicazioni delle due scale per avere la differenza di livello delle colonne, che è la misura della colonna che cerchiamo.

Variazioni del barometro. Il barometro essendo un'istrumento che ci dà la misura della pressione atmosferica, serve a indicarci i cambiamenti di questa pressione. Nel trattato della meteorologia discorreremo assai a lungo di questi cambiamenti e delle loro cagioni. Per ora basterà indicare che si distinguono due sorta di variazioni nel barometro: le une diconsi *accidentali* perchè sfuggono ad ogni legge e non possono mai prevedersi; le altre diconsi *orarie*, riproducendosi con molta regolarità ad ore determinate. Le variazioni accidentali variano molto nei diversi climi. In certi paesi non producónsi mai; così nella zona equatoriale, il barometro rimane insensibile sotto le più forti burrasche: la sensibilità del barometro cresce colla latitudine. Nei nostri paesi il baro-

metro è assai sensibile, e indica sovente delle variazioni accidentali. In generale si osserva che il barometro s'innalza quando il cielo è sereno e s'abbassa allorchè si fa nuvoloso. I fisici si sono lungo tempo sforzati invano di spiegare la causa di questo fenomeno; ma si è infine riconosciuto che ciò dipende dalla natura dei venti che portano in Europa il buono e il cattivo tempo. Difatti già era stato osservato che i venti caldi fanno abbassare il barometro, e i venti freddi lo fanno inalzare: ora in Europa i venti di libeccio, che sono i più caldi, fanno abbassare il barometro, e poichè questi venti sono quelli che portano a noi la pioggia, questa è la cagione della coincidenza osservata. Invece i venti freddi grecali che a noi portano il buon tempo, fanno inalzare la colonna barometrica. Le variazioni orarie sono state osservate con molta attenzione da Ramond, il quale ha scoperto che si fanno colla seguente legge. Nell'inverno v'è un massimo di altezza alle 9 del mattino, un minimo alle 3 dopo mezzogiorno, e un secondo massimo alle 9 della sera; nell'estate il primo massimo ha luogo prima delle 8 del mattino, il minimo alle 4 dopo mezzogiorno, e il secondo massimo alle 11 della sera. Queste regolari variazioni fra un massimo ed un minimo del giorno si compiono per una lunghezza di soli due millimetri.

Rapporto tra il volume e la forza elastica dei gas. Abbiamo già osservato che ogni volta che un gas è compresso, esso diminuisce di volume, e la sua forza elastica cresce colla sua densità. Non conosciamo però ancora il rapporto che esiste fra le variazioni di volume di un gas e la sua forza elastica. Questo rapporto è stato trovato da Mariotte, ed è espresso da una legge che porta il suo nome.

Legge di Mariotte. L'apparecchio che serve a determinare la forza elastica dell'aria sotto differenti volumi si compone di un tubo (*Tav.* IV, *Fig.* 123) *ABCD* chiuso in *D* ed aperto in *A;* la parte *DC* di questo tubo è divisa in parti di egual capacità, e i due bracci *DC* ed *AB* sono muniti di scale divise in centimetri e millimetri, le quali partono da una stessa linea orizzontale. Si comincia dall'introdurre nel tubo una piccola quantità di mercurio per separare l'aria rinchiusa nel tubo *DC* da quella contenuta nel tubo *AB*, ma in modo che il

liquido sia allo stesso livello nei due bracci, onde la colonna d'aria *DC* non sia premuta che dall'atmosfera. Si misura esattamente la lunghezza di questa colonna e s'introduce nel tubo *AB* una tal quantità di mercurio che la differenza di livello del mercurio nei due tubi sia eguale all'altezza del barometro. Si riconosce allora che la colonna d'aria è ridotta alla metà. Perciò la sua densità si è raddoppiata, e si è pure raddoppiata la pressione a cui fa equilibrio. Sarà dunque nello stesso rapporto della sua densità e della sua pressione cresciuta anche la sua forza elastica. La pressione è in questo caso eguale a due volte la pressione atmosferica, o, come si dice, a due *atmosfere*. Se si aggiungerà nel braccio *AB* tanto mercurio da far divenire la sua colonna alta due volte la colonna barometrica, si osserverà che la colonna d'aria si sarà ridotta ad $\frac{1}{3}$ del suo volume primitivo. La pressione è in questo caso eguale a tre atmosfere. La forza elastica e la densità sono dunque cresciute come le pressioni, e il volume ha sempre variato in ragione inversa di queste pressioni. Questa è la legge di Mariotte, la quale si esprime in questi termini: *I volumi occupati da una stessa massa di aria sono in ragione inversa delle pressioni che essa subisce, e le sue densità variano in ragione diretta di queste pressioni e delle sue forze elastiche.*

Questa legge si verifica anche alle pressioni minori di un'atmosfera. L'apparecchio che serve a questo scopo è semplicissimo (*Fig.* 124). *AB* è un tubo chiuso nella sua estremità superiore, diviso in parti di eguale capacità, contenente un certo volume di aria, ed immerso in un vaso *CD* pieno di mercurio; quando il liquido è alla stessa altezza al di dentro e al di fuori, l'aria è sottoposta alla pressione dell'atmosfera, e quando si solleva il tubo l'aria si dilata, la sua densità diminuisce per conseguenza, e quindi anche la sua forza elastica, ed il mercurio allora si solleva nell'interno del tubo al di sopra del livello esterno. La pressione che essa allora esercita è eguale a quella dell'atmosfera diminuita dell'altezza della colonna di mercurio sollevatasi al di sopra del livello esterno. Misurando il volume dell'aria nelle diverse posizioni del tubo e le pressioni alle quali quest'aria è sottoposta, le quali ottengonsi sottraendo dalla pressione barometrica l'altezza del mercurio

nel tubo sul livello esterno, si trova la legge di Mariotte verificata a pressioni inferiori a quella dell'atmosfera. È indispensabile che in tutte queste esperienze l'aria di cui si misura la forza elastica sia perfettamente priva di umidità, perchè il vapore acquoso è dotato, come vedremo, di forza elastica propria. Conviene anche tener costante la temperatura per tutto il tempo dell'esperienza, perchè il solo calore è capace di far variare la forza elastica dei gas. In luogo dell'aria possono adoperarsi altri gas; basterà di adattare al tubo *AB* un robinetto che possa mettersi in comunicazione con un pallone pieno del gas sul quale si vuole operare.

Arago e Dulong sono giunti con un apparecchio convenientemente costruito a confermare la legge di Mariotte sull'aria fino alla pressione di 27 atmosfere. Petit e Dulong hanno pure verificato questa legge sui varj gas sottoponendoli a temperature assai diverse.

Limiti della legge di Mariotte. Secondo le recenti e scrupolose ricerche di Regnault parrebbe che l'aria, il gas azoto ed il gas acido carbonico non seguano esattamente questa legge; ma che si comprimano un poco più di quello che si richiederebbe secondo tal legge. Il gas idrogeno invece prova una compressione minore di quella data dalla legge medesima, e la sua compressione risulta minore, a misura che la pressione aumenta.

Inoltre la legge di Mariotte ha un certo limite per tutti quei gas che sottoposti a delle forti pressioni, dopo aver diminuito successivamente di volume, finiscono col passare allo stato liquido. Questi gas divengono sempre più compressibili, a misura che si avvicinano al punto di cambiare di stato.

Coercibilità e liquefazione dei gas. Chiamansi *gas coercibili* o *non permanenti* quei gas che sottoposti a delle forti pressioni riduconsi allo stato liquido, mentre diconsi *permanenti* quelli che per anco non si è riusciti a liquefare. Tra i primi ve ne ha alcuni che possono esser liquefatti anche alla pressione ordinaria per mezzo di un grande raffreddamento. Vedremo nel trattato del calore come il raffreddamento produca questo cambiamento di stato. Basti per ora ritenere che quanto più si raffredda un gas non permanente, tanto minore sarà la

pressione capace di ridurlo allo stato liquido. L'aria, i gas semplici che la compongono, ossigeno e azoto, l'idrogeno, il biossido d'azoto e l'ossido di carbonio sono i soli corpi aeriformi permanenti. Può darsi però che si giunga un giorno a produrre una tal pressione e un tal raffreddamento che uniti insieme producano ancora la liquefazione di questi gas. L'apparecchio più semplice per la liquefazione dei gas è quello immaginato da Davy e da Faraday. Consiste in un tubo di vetro a pareti molte grosse, e gli si dà la forma indicata dalla *Fig.* 125; s'introducono nelle sue curvature le sostanze che per la loro reazione debbono produrre il gas che devesi liquefare; poscia chiudonsi gli orifizj del tubo colla fusione del vetro. Si rovescia il tubo in modo da radunare ad una delle sue estremità le sostanze introdotte. Il gas che si sviluppa accumulandosi in un piccolo spazio produce una compressione sufficiente per liquefarne una porzione; non rimane allora, per separare il gas liquefatto dagli altri prodotti dell'azione chimica, che ad immergere uno dei bracci del tubo (*Fig.* 126), in un miscuglio frigorifico; il gas liquefatto distilla e viene a radunarsi nella parte fredda del tubo.

Volendo liquefare delle grandi masse di gas conviene adoprare dei grandi vasi metallici a pareti resistenti. Coll'apparecchio di Thilorier, si giunge non solo a liquefare delle quantità considerevoli di gas acido carbonico, ma ben anco a solidificarle. Ecco in che consiste questo rimarchevole apparecchio (*Tav.* V, *Fig.* 132). *G* è un vaso cilindrico di circa 5 litri di capacità, ed abbastanza resistente per sopportare lungo tempo delle pressioni molto superiori a 100 atmosfere; chiudesi per mezzo di un turacciolo a vite, il cui asse è traversato da un piccolo canale, che chiudesi per mezzo del robinetto *c*. Questo recipiente è sostenuto, un poco al di sopra del suo mezzo, da due perni solidi, intorno ai quali può farsi girare per renderlo orizzontale, od anche per rovesciarlo. È questo il *generatore*. Per produrvi dell'acido carbonico liquido, vi si pone prima dell'acqua e del bicarbonato di soda, poi un peso conveniente d'acido solforico concentrato, contenuto in un lungo tubo di rame chiuso in basso. Poscia si chiude il recipiente col turacciolo indicato, e si fa girare il generatore

in modo da fare scolare l'acido solforico dal tubo in cui è contenuto, e mescolarlo cogli altri elementi. In meno di un quarto d'ora la reazione è terminata; l'acido carbonico, sviluppandosi in uno spazio ristretto, si liquefà per la propria pressione. Allora si fa passare nel recipiente *R*, situato orizzontalmente su di una tavola: a tal uopo si adatta ai due recipienti il piccolo tubo di rame *ef* che deve stabilire la comunicazione, e aprendo i due robinetti *c* e *g*, il gas si precipita dal generatore nel recipiente finchè non si stabilisce l'equilibrio di pressione: la quantità ne è sensibilmente maggiore quando il recipiente è circondato di ghiaccio. Si chiude il robinetto *g*, e si ripete tre o quattro volte questa operazione per ogni litro d'acido carbonico liquido che vuolsi accumulare nel recipiente *R*, al quale si dà comunemente una capacità di due o tre litri. Il generatore ed il recipiente sono costruiti nel modo seguente: il vaso interno è di una grossa lastra di piombo e circondato da un vaso di rame rosso, e questo è strettamente serrato da cerchi di ferro in tutta la sua estensione; infine le due basi sono pure dischi di ferro. Facendo uscire dal recipiente, mediante un robinetto, il vapore dell'acido carbonico, questo invece di liquefarsi passa immediatamente allo stato solido, pel raffreddamento dovuto all'evaporazione; e produce una neve bianchissima in filamenti leggieri. Per raccoglierla Thilorier ha immaginato due coppe di sottil lastra metallica, le quali riunisconsi a bajonetta, poichè l'una serve come di coperchio all'altra. I manichi *m* delle medesime sono circondati di panno, per difendere le mani dall'impressione dell'eccessivo freddo. Un piccolo tubo *d* s'introduce in un tubo affilato che adattasi al di sopra del robinetto *g* del recipiente *R*, in luogo del tubo di comunicazione *e f*. Allora aprendo il robinetto *g*, il gas fugge impetuosamente, incontra una lamina *l*, che gli dà un rapido movimento rotatorio nell'interno delle coppe, e dopo pochi secondi, dopo aver chiuso il robinetto *g*, basta separare queste due coppe per raccoglervi una massa leggiera e nevosa di acido carbonico solido.

Il quadro seguente indica le pressioni e le temperature alle quali i seguenti gas sono stati liquefatti.

Gas	Pressione	Temperatura
Acido solforoso	2 atmosfere	+ 7°
Cloro	4	— 15°
Acido idrosolforico	17	+ 8°
Acido carbonico	36	0°
Idem	73	+ 30°
Protossido d'azoto	51	+ 7°
Gas ammoniaco	5	0°

Manometri. Chiamansi *manometri* gl' istrumenti destinati a misurare la tensione dei gas e dei vapori, quando la medesima è superiore a quella dell'atmosfera. Si distinguono varj generi di manometri: noi parleremo soltanto del manometro ad aria libera e di quello ad aria compressa. In questi apparecchi l'unità di misura adottata è la pressione atmosferica o *atmosfera*, il cui valore ci è già noto.

Il *manometro ad aria libera* fornisce la misura in atmosfere della tensione di un gas o di un vapore contenuto in un vaso chiuso, mediante l'altezza della colonna di mercurio alla quale questa tensione può fare equilibrio. È formato da un tubo *BD* (*Tav.* IV, *Fig.* 127) di cristallo, lungo circa cinque metri, e di una vaschetta *D* di ferro, contenente del mercurio, nel quale trovasi immerso il tubo. Quest'ultimo è solidamente unito con mastice alla vaschetta, e fissato su d'una tavoletta lungo la quale v'ha un altro tubo *AC* di ferro, alto 4 metri. La pressione del gas o del vapore, si trasmette fino al mercurio della vaschetta per mezzo di questo tubo. Siccome i manometri servono nel maggior numero dei casi a misurare la tensione del vapore acqueo, la cui temperatura elevata rammollirebbe il mastice col quale il tubo è fissato alla vaschetta, così si riempie il tubo *AC* di acqua, la quale riceve direttamente la pressione del vapore, e la trasmette al mercurio. Per graduare questo manometro, si lascia che l'orifizio *A* comunichi coll'atmosfera, ed al livello in cui si arresta il mercurio entro il tubo di cristallo, si segna la cifra 1, che esprime un'atmosfera; quivi comincia la scala; ma è chiaro che la medesima non potrà proseguirsi segnando

di 76 in 76 centimetri le cifre 2, 3 ec., indicanti le successive atmosfere, perchè mentre la colonna di mercurio da un lato si solleva, si abbassa dall'altro; ed inoltre perchè da un lato, gravita sulla colonna del mercurio, una colonna d'acqua di una certa altezza. Nondimeno conoscendo in che rapporto si trovano le sezioni dei due tubi, e determinando il valore di quest' ultima pressione, si potranno facilmente calcolare le altezze a cui dovranno segnarsi le successive atmosfere.

Il manometro ad aria libera è usato soltanto per le pressioni che non sorpassano cinque a sei atmosfere, imperciocchè pressioni superiori a queste esigerebbero dei tubi troppo lunghi, e in conseguenza incomodi. Allora si fa uso del *manometro ad aria compressa*. La *Fig.* 128, *Tav.* IV, rappresenta la più semplice disposizione di questo apparecchio. Il tubo *ab* comunica col vaso che contiene il gas compresso, il tubo *bce*, la cui estremità *e* è chiusa, contiene del mercurio e dell'aria. Supponiamo che quando l'estremità *a* del tubo comunica coll'atmosfera, il mercurio s'innalzi nel tubo *de* fino al punto *d*: quando la pressione alla quale l'aria è sottoposta diverrà doppia, il volume dell'aria sarà la metà, e diverrà 10 volte più piccolo se la pressione si farà 10 volte maggiore. Perciò se il tubo *ed* sarà cilindrico, dividendo la sua lunghezza in 100 parti eguali, la scala indicherà la pressione alla quale l'aria è sottoposta; e la forza elastica del gas che agisce sul mercurio sarà eguale a quella dell'aria contenuta in *ed*, più la differenza dell'altezza del mercurio nei tubi *bc* e *ce*. Perciò aggiungendo questa differenza all'altezza della scala si avrà la pressione del gas. Onde evitare la necessità di due scale si dà spesso ai manometri ad aria la forma indicata dalla Figura 129. Il pozzetto *MN*, avendo un diametro assai grande rispetto a quello del tubo, si può supporre senza errore sensibile che il livello del liquido vi rimanga costante. Si può anche impiegare un manometro consistente in un tubo capillare contenente dell'aria secca separata dall'aria esterna per mezzo di una bolla di mercurio che serve d'indice (*Tav.* IV, *Fig.* 130). Quando il manometro dev'essere immerso in un liquido, ci possiamo servire del liquido stesso per comprimere direttamente l'aria del manometro. Così accade nel piezometro, già

da noi descritto. Le indicazioni di questi istrumenti non sono fra loro paragonabili se non quando la temperatura è la stessa, perchè la forza elastica dei gas varia con essa.

I così detti *tubi di sicurezza* o *di Welter*, che adoprano i chimici nella preparazione dei gas non sono altra cosa che manometri ad aria libera. Essi applicansi alle storte od ai palloni di vetro in cui si sviluppa qualche fluido aeriforme, e mentre servono a indicare la pressione dei medesimi, hanno per iscopo principale di prevenire il fenomeno conosciuto col nome di *assorbimento*. La Figura 133 Tav. V rappresenta una storta munita del suo tubo di sicurezza: è questo un tubo *CB* doppiamente ricurvo che adattasi per mezzo di un turacciolo di sughero alla tubulatura della storta, e contenente una certa quantità di acqua o di un liquido qualunque. Supponiamo che in conseguenza del calore fornito da una lampada a spirito, si sviluppi dalla storta un gas che passi nella campana *G*. Finchè la forza elastica di questo gas sarà eguale alla pressione atmosferica, il liquido si sosterrà allo stesso livello nei due rami del tubo; ma non appena questo equilibrio cesserà, la differenza di pressione sarà indicata dalla differenza di livello del liquido nei due rami stessi. Se si togliesse rapidamente la lampada, il gas dell'interno della storta perderebbe una porzione della sua forza elastica, e l'acqua in cui è immerso il collo della storta, tenderebbe tosto a salirvi, e ciò potrebbe dar luogo ad una rottura se la storta fosse sempre calda. Il tubo di sicurezza previene questo inconveniente; poichè a misura che la forza elastica del gas della storta diminuisce, la colonna liquida racchiusa nel ramo *CB* del tubo di sicurezza, s'abbassa di continuo in virtù della pressione atmosferica, fino a permettere all'aria esterna di penetrare nella parte curva dell'apparecchio, in *B*, e d'introdursi, traversando il liquido della palla, nell'interno della storta per ristabilirvi l'equilibrio.

Applicazione del barometro alla misura delle altezze. Ora che conosciamo la legge di Mariotte sul rapporto che esiste fra le densità dei fluidi aeriformi e le pressioni cui sono sottoposti, possiamo intendere facilmente in qual modo il barometro possa servire alla misura delle altezze. Gli abbassamenti cui va sog-

getta la colonna barometrica a misura che c' inalziamo nell'atmosfera, possono servire alla misura dell'altezza di un luogo qualunque al di sopra del livello del mare. Se l'atmosfera avesse da per tutto la stessa densità, il problema della determinazione delle altezze per mezzo degli abbassamenti del barometro sarebbe semplicissimo. In questo caso infatti la pressione dell'atmosfera sul mercurio, e conseguentemente l'altezza della colonna barometrica diminuirebbe con una progressione uniforme a misura che ci sollevassimo attraverso degli eguali strati d'atmosfera. Se accadesse per esempio che in riva al mare uno strato d'aria della grossezza di 100 piedi equivalesse in peso ad una linea di mercurio, il barometro dovrebbe sempre abbassarsi di una linea per ogni 100 piedi di elevazione, perciò a 200 piedi accadrebbe un abbassamento di due linee, a 300 piedi di 3 linee, e così via discorrendo. Conseguentemente se l'aria fosse un fluido di densità uniforme, per trovare l'altezza di una montagna, basterebbe osservare primieramente l'altezza del barometro al livello del mare e quindi sulla cima della montagna medesima, e calcolare 100 piedi di elevazione per ogni linea di differenza che vi fosse fra l'altezza della colonna di mercurio alle due stazioni.

Il metodo ora indicato non può esser posto in pratica, perchè riposa sopra un'ipotesi completamente falsa, quella cioè della uniforme densità dell'atmosfera. Noi sappiamo infatti che la densità dell'atmosfera, invece di esser da per tutto la stessa che alla superficie della terra, diminuisce invece con una rapidissima progressione, a misura che c'inalziamo. Supponiamo per es. che salendo a 100 piedi, il barometro si abbassi di una linea: ascendendo ad altri 100 piedi, il barometro non si abbasserà più di un'altra linea, ma di una quantità minore, giacchè questo secondo strato d'atmosfera trovandosi più alto, e quindi meno compresso del primo, ne risulta che il suo peso, e quindi la pressione che esercita, sarà inferiore a quella del primo. Lo stesso dicasi per un'ascensione di altri 100 piedi: questo terzo strato, essendo meno compresso del secondo, e quindi meno denso, produrrà un abbassamento più piccolo ancora. Lo stesso dovrebbe ripetersi per tutti gli strati successivi che s'incontrerebbero nella supposta ascensione. Segue

da ciò che per dedurre la differenza fra l'altezza di due strati atmosferici, per mezzo dell'abbassamento del barometro, conviene conoscere il rapporto che esiste tra le densità di questi strati e la loro respettiva altezza. Ora partendo dalla legge di Mariotte, si può dimostrare, che le altezze degli strati successivi dell'atmosfera crescendo in progressione aritmetica, le densità corrispondenti diminuiscono in progressione geometrica. Infatti supponiamo che *AH* (*Tav.* V, *Fig.* 134) rappresenti l'altezza di tutta l'atmosfera, cioè a dire che questa retta sia condotta verticalmente dal suolo fino ai confini dell'atmosfera, e supponiamo inoltre, che si sieno condotte perpendicolarmente a questa retta delle linee orizzontali ad eguali distanze le une dalle altre, rappresentanti i diversi strati dell'atmosfera. Sia P il peso di tutta la colonna atmosferica che preme sulla superficie della terra, P' il peso di tutta la colonna di aria che preme sul primo strato, P'' quello di tutta la colonna d'aria che preme sul secondo strato, e così di seguito. Sia D la densità del primo strato, D' quella del secondo, D'' quella del terzo ec, ec. $P-P'$ sarà il peso del primo strato inferiore; $P'-P''$ sarà il peso del secondo, $P''-P'''$ quello del terzo, e così di seguito. Ora i pesi di due quantità di uno stesso gas, prese sotto lo stesso volume, sono proporzionali alle densità: perciò supponendo che i varj strati d'aria da noi considerati, abbiano tutti dei volumi perfettamente eguali, si avrà la proporzione: $P-P'$ peso del primo strato, sta al peso $P'-P''$ del secondo strato, come $D : D'$; ma già $D : D' = P' : P''$, giacchè le densità sono proporzionali alle pressioni; perciò a motivo del rapporto comune di queste due proporzioni si avrà

$$P-P' : P'-P'' = P' : P'',$$

da cui eguagliando il prodotto degli estremi con quello dei medj si ha

$$PP''-P'P'' = \frac{2}{P'}-P'P'$$

$$\text{ovvero } PP'' = \frac{2}{P'},$$

eguaglianza, da cui si trae la proporzione

$$P : P' = P' : P''$$

Si troverebbe parimente che $P' : P'' = P'' : P'''$, e così di seguito; si avrà dunque la progressione geometrica

$$\div P : P' : P'' : P''' \ldots \text{ec. ec.},$$

che è evidentemente decrescente, poichè P rappresenta il peso di tutta l'atmosfera, mentre P' rappresenta questo peso diminuito di quello del primo strato, P'' questo medesimo peso diminuito di quello dei due primi strati, e così di seguito. D'altronde è evidente che le altezze dei differenti strati d'aria a partire dal suolo formano una progressione aritmetica crescente, e poichè, dall'altro canto, le densità sono proporzionali alle pressioni, è chiaro che le densità dei differenti strati d'aria, sono in progressione geometrica decrescente. Ma noi sappiamo che i logarimmi sono dei numeri in progressione aritmetica che corrispondono a dei numeri in progressione geometrica. Dunque l'altezza di un punto dato dell'atmosfera al di sopra di uno strato qualunque, può esser riguardata come il logarimmo della sua densità. D'altronde la densità di uno strato qualunque è indicata dall'altezza della colonna barometrica; dunque l'altezza dell'atmosfera nel luogo di osservazione, può esser considerata come il logarimmo dell'altezza della colonna barometrica. Perciò se si avesse una tavola calcolata con questo sistema di logarimmi, per trovare la differenza tra l'altezza di due strati atmosferici, basterebbe conoscere la differenza fra i logarimmi delle loro densità, espresse dalle altezze della colonna barometrica.

Questo metodo condurrebbe a dei resultati perfettamente esatti, se il grado di densità dell'aria dipendesse unicamente dalla pressione degli strati superiori dell'atmosfera. Ma altre circostanze, e particolarmente la temperatura, contribuiscono a far variare questa densità. Se per esempio la temperatura è alta l'aria aumenterà di volume, e la sua densità diminuirà; se invece la temperatura è bassa, l'aria diminuirà di volume e diverrà più densa sotto la stessa pressione. È stato adunque necessario d'introdurre nella formola barometrica le correzioni necessarie per ricondurre le altezze calcolate a ciò che sarebbero nel caso di una temperatura uniforme.

Su questi principj è fondato il seguente metodo di De-Luc e Pictet per calcolare le altezze per mezzo del barometro.

Questo è il più semplice; e benchè non sia rigorosamente esatto, dà per altro dei resultati che poco differiscono dal vero.

Si esamina con molta attenzione l'altezza del barometro in linee alle due stazioni, di cui si vuol paragonare l'altezza. Si prendono i logarimmi di questi due numeri di linee, e si sottrae il numero più piccolo dal più grande; la differenza moltiplicata pel numero 10,000 dà in tese ed in frazioni di tese, la differenza fra l'altezza delle due stazioni. Così per esempio supponiamo che il barometro in riva al mare, sia a 28 pollici, ovvero a 336 linee, e che alla sommità di una collina sia a 330 linee. Si avrà

$$
\begin{array}{rl}
\text{Log. } 336 = & 2{,}526339 \\
\text{Log. } 330 = & 2{,}518513 \\
\hline
\text{Differenza} = & 0{,}007826
\end{array}
$$

Dunque 78,26 tese è la differenza fra l'altezza delle due stazioni.

Resta non di meno a farsi una correzione per la temperatura dell'atmosfera, la quale cangia di volume, secondo che è più o meno riscaldata. Deluc stabilì per mezzo di una numerosa serie di osservazioni che potevasi prendere la temperatura di 12° Reamur, come temperatura fissa e normale, cioè a dire quella in cui non v'ha correzione da farsi; che se la temperatura media delle due stazioni era più alta di quella, bisognava, per ottenere esattamente l'altezza, aggiungere all'altezza approssimativa calcolata in tese tante volte i 0,005 di quest'altezza, quanti gradi di Reamur eran compresi fra la temperatura media delle due stazioni e la temperatura di 12°. Se invece, la media delle due stazioni era al di sotto della temperatura normale, bisognava sottrarre questa stessa quantità dall'altezza totale ottenuta.

Così per es. supponiamo il termometro alla stazione inferiore a 18° R. ed alla stazione superiore a 14°. La media delle due stazioni sarà di 16°; quindi la differenza in più, fra questa media e la temperatura normale sarà di 4°. L'altezza approssimativa da correggersi, essendo di 78,26 tese, bisognerà aggiungere i 0,02 di questa quantità, ossia una tesa e $\frac{56}{100}$. L'altezza corretta diverrà dunque di 79,82 tese.

Se invece il termometro alla stazione inferiore fosse a 12° R. ed alla superiore a 6°, la media essendo di 9°; la differenza in meno sarebbe di 3°, e perciò per la stessa altezza approssimativa di 78,26 tese, converrebbe sottrarre i 0,005 di questa quantità, ossia una tesa e $\frac{17}{100}$: quindi l'altezza corretta diverrebbe di 77,09 tese.

Maraldi e Cassini impiegavano un altro metodo per determinare le altezze per mezzo del barometro. Essi aveano osservato che quando il barometro segnava millimetri 760, era necessario elevarsi di 10^m, 5 per ottenere l'abbassamento di un millimetro, e che negli strati successivi era necessaria una maggiore elevazione per ottenere lo stesso abbassamento della colonna barometrica; perciò per compensare l'effetto della diminuita densità praticavano di aggiungere all'altezza fondamentale per ogni millimetro di abbassamento 0^m, 15 pel primo millimetro, 0^m, 30 pel secondo, e così sempre progredendo pei successivi. Così per es. si voglia con questo metodo sapere quanto sia alto un colle, al cui piede il barometro segna millim. 760 ed alla cima 750. Si avrebbe in questo caso 10^m, 5×10, più la somma della progressione aritmetica che ha per primo termine 0^m, 15, che è composta di dieci termini e che ha per rapporto 0,15. Si avrebbe quindi $105^m + 8^m$, 25 $= 113^m$, 25.

Se poi alla stazione inferiore non si abbia l'altezza barometrica normale di 760 millimetri, allora si calcoleranno ancora 10^m, 5 per ogni millimetro di abbassamento, e per l'aggiunta da farsi si defalcheranno dalla serie tanti termini, cominciando dal primo 0^m, 15 quanti sono i millimetri di cui la colonna barometrica al piede del colle differisce da 760. Talchè se il barometro alla base del medesimo segnasse millimetri 753 ed alla sommità si avesse $745^{\text{millim.}}$, il primo termine della serie da aggiungersi al prodotto 10^m, $5 \times 8 = 84^m$, sarebbe 1,20, il secondo 1,35 ec.; e con quest'aggiunta sarebbe l'altezza eguale a $84^m + 13^m$, $80 = 97^m$, 80. Questo metodo può condurre a dei resultati assai diversi dal vero a motivo della temperatura, la quale non si conserva costante in tutti gli strati dell'atmosfera. Laplace ha dato una formola che considera anche questo elemento, e per mezzo della quale si può trovare la

differenza di altezza di due stazioni, nei luoghi situati a latitudini non molto discoste da quella di 45°. Chiamando A ed a le altezze barometriche alle due stazioni, T e t le temperature corrispondenti, ed x la differenza di altezza delle due stazioni, si ha

$$x = 18393^{m}\left(1 + \frac{2(T+t)}{1000}\right)\log.\frac{A}{a}$$

Per mezzo di questa formola può aversi approssimativamente il limite dell'atmosfera, almeno sino a quell'altezza in cui la forza elastica dell'aria fa equilibrio ad una colonna barometrica alta un millimetro, che è il maggior grado di rarefazione a cui giungiamo colle nostre migliori macchine pneumatiche. L'altezza dell'atmosfera a questo limite si trova colla indicata formola eguale a 46,629 metri, cioè all'incirca di 10 leghe.

Volendo determinare le altezze col barometro è utile, quando la distanza delle due stazioni non sia molta, di fare le due osservazioni simultaneamente. Quando questo non si possa, converrà calcolare sopra un certo numero di osservazioni fatte in giorni d'aria calda e serena, e in ore poco lontane dal mezzogiorno, che sappiamo esser quelle della media altezza barometrica del giorno.

Equilibrio dei corpi immersi nei gas. Il principio d'Archimede da noi verificato pei corpi immersi nei liquidi si verifica pure pei corpi immersi nei gás. Un corpo immerso nell'aria o in qualunque altro gas tende a cadere con una forza eguale al suo peso, ed è spinto in senso contrario con una forza eguale al peso dell'aria che sposta; dal che resulta che è in equilibrio se il suo peso è eguale al peso del volume d'aria che sposta, cade se è maggiore, e s'inalza se è minore. Questo principio si deduce dalle stesse considerazioni che esponemmo nell'idrostatica.

I corpi tutti adunque immersi nell'aria perdono una porzione del loro peso, eguale al peso di un volume d'aria eguale al loro. Perciò i corpi più voluminosi ne dovranno perdere più degli altri. Se si avranno due globi di un volume diverso e che nell'aria abbiano lo stesso peso, nel vuoto non peseranno più egualmente. Sieno questi due globi A e B (*Tav.* IV, *Fig.* 131) posti all'estremità di una piccola bilancia, e si facciano per-

fettamente equilibrio nell'aria. Pongansi sotto la campana della macchina pneumatica. Appena si fa il vuoto l'equilibrio fra di essi non si conserva, e la bilancia cade dal lato del globo più voluminoso. È facile spiegare questo fenomeno. Il globo più voluminoso è realmente più pesante dell'altro; ma gli faceva equilibrio nell'aria a motivo della perdita maggiore di peso che subiva in questo fluido, spostandone un volume maggiore.

V'ha dunque una correzione assai importante da farsi allorquando si determina il peso assoluto di un corpo e la sua densità. Convien rettificare l'errore che si commette in grazia della perdita di peso che soffre per lo spostamento dell'aria. Per fare questa correzione basterà determinare il volume del corpo, quindi calcolare il peso di un egual volume di aria ed aggiungerlo al peso ottenuto.

Globi areostatici. Sul principio d'Archimede applicato ai corpi immersi nei gas, è fondata la costruzione dei globi areostatici. Consistono in invogli leggieri, ordinariamente di forma sferoidale, contenenti dell'aria dilatata o un gas più leggiero dell'aria, i quali in grazia della loro leggerezza s'innalzano nell'atmosfera. Ciò non può accadere altrimenti. Difatto, la spinta che questi corpi ricevono è eguale al peso di un egual volume d'aria spostata, che è maggiore del loro proprio, quindi debbono essere necessariamente spinti in alto. Se i globi areostatici non fossero suscettibili di aumentare di volume nell'inalzarsi nell'atmosfera, di poco si solleverebbero, poichè l'aria rarefacendosi sempre più nelle regioni superiori, essi ne incontrerebbero ben tosto uno strato della stessa densità loro; perciò non si riempiono mai completamente di gas, cosicchè a misura che si elevano, facendosi sempre più leggiera l'aria che traversano, per la diminuita pressione aumentano di volume, spostano una maggior quantità di fluido, e così continuano a salire.

I primi palloni furono costruiti da Montgolfier nel 1782. I palloni alla Montgolfier consistono in globi di carta verniciata o di taffettà, aventi nella loro parte inferiore un'apertura di varj decimetri. Al di sotto di questa apertura, e a qualche distanza è sospeso un leggiero paniere, contenente un

corpo in combustione, come per esempio una spugna impregnata di alcool. Il calore di tal combustione dilata l'aria del pallone, ed esso comincia a salire.

Poco dopo l'invenzione di Montgolfier, Charles immaginò di sostituire all'aria calda il gas idrogeno, che è oltre 14 volte più leggiero dell'aria, essendo la sua densità = 0,0691. L'involglio dei globi areostatici a gas idrogeno è ordinariamente di seta coperta di una vernice di gomma elastica. L'emisfero superiore è contenuto in una rete di seta, i cui fili discendono a sostenere la navicella che porta i viaggiatori. In questo emisfero v'ha una valvola chiusa costantemente da una molla, che può aprirsi per mezzo di una corda che scende nella navicella. Quando si vuole aumentare la forza ascensionale del pallone, se ne diminuisce il peso, gettando porzione della zavorra che si era caricata: per diminuirla basta aprire la valvola e diminuire il volume del pallone lasciando uscire una porzione del gas. Montgolfier immaginò il *paracadute*, che è una specie di ombrello, di cui la circonferenza è fissata con corde alla navicella. Quando, per qualche sinistro, il pallone sgonfiatosi discende precipitosamente colla velocità dovuta a tutto il suo carico, il paracadute si apre, e per la resistenza che incontra nell'aria, la caduta si rallenta.

Movimento dei corpi gassosi. I corpi gassosi possono esser posti in moto da varie cause: 1.° dall'azione del calore; 2.° dal movimento dei corpi solidi o liquidi che loro trasmettono una parte della propria velocità; 3.° infine dalla loro propria elasticità, allorchè si fanno uscire nel vuoto o in un mezzo che abbia minore elasticità. Tratteremo più innanzi dei movimenti prodotti dal calore, e parleremo per ora soltanto di quelli generati dalle altre due cause che abbiamo accennato.

Movimenti comunicati. Allorquando un corpo è in movimento nell'atmosfera, ne comunica una porzione all'aria che incontra: da ciò le correnti artificiali che si estendono ad una massa d'aria tanto più grande quanto più grande è la forza motrice. Le macchine che sono destinate a porre l'aria in moto per comunicazione portano il nome di *ventilatori*. Perciò sono ventilatori i ventagli, i soffietti, i mantici, le macchine destinate a separare da certi corpi la polvere da cui sono imbrat-

tati, e quelle che servono al rinnuovamento dell'aria nei luoghi rinchiusi. Ci limiteremo a descrivere il ventilatore a forza centrifuga, e le trombe o macchine soffianti.

Il ventilatore a forza centrifuga si compone di un tamburo di legno *ABCD* fisso, di poca profondità e di un diametro assai grande (*Tav.* V, *Fig.* 135), traversato nel centro da due fori circolari, ed alla circonferenza da una o da più aperture. L'asse del cilindro è traversato da un'asta di ferro *MN*, mobile per mezzo di un manubrio; essa è fornita di quattro ali che percorrono l'interno del tamburo, durante la sua rotazione. Quando si fa girare il manubrio, l'aria percossa dalle ali si muove circolarmente, e in grazia della forza centrifuga che si genera fugge dalle aperture della circonferenza, nel tempo che l'aria esterna s'introduce dalle aperture centrali del tamburo. Quando questo apparecchio è destinato a spingere al di fuori una corrente di aria, non ha che un'apertura alla circonferenza, colla quale, per mezzo di un tubo, si pone in comunicazione il luogo in cui si vuole spingere la corrente; quando invece l'apparecchio ha per oggetto di aspirare l'aria di un certo luogo, si fanno comunicare gli orifizj del centro col luogo dal quale l'aria dev'essere aspirata.

Le trombe, o macchine soffianti, sono frequentemente adoprate negli opificj metallurgici, per produrre le correnti d'aria destinate ad alimentare i grandi forni fusorj. La *Fig.* 136, *Tav.* V, è una sezione di uno di questi apparecchi. *A* è un serbatojo di acqua, *B* un tubo aperto alle sue estremità, il quale comunica colla sua parte superiore col serbatojo *A* e colla sua parte inferiore con una cassa *C*, fornita di due aperture, l'una *D* posta in basso, l'altra superiore *E*, sulla quale è disposto un tubo *EF* terminato dall'ugello *G*. L'orifizio superiore del canale *B* è ristretto da delle tavole *aa*. L'apertura formata dalla parte inferiore di queste tavole dicesi strozzatura. Al livello della strozzatura le pareti laterali del canale sono traversate da diversi fori inclinati *cc*, che chiamansi *aspiratori*. Infine l'apertura inferiore del canale *B* trovasi ad una piccola distanza al di sopra di uno scalino fisso *d*, sul quale va a rompersi la corrente dell'acqua. L'acqua del bacino superiore *A* penetra per la strozzatura nel canale ver-

Onde verificare questi resultati colla esperienza, si ricorre a degli apparecchi conosciuti col nome di *Gasometri*, i quali servono a misurare la quantità di un gas uscito in un dato tempo sotto una data pressione.

Il gasometro consiste in una campana metallica cilindrica posta sull'acqua e sostenuta da una corda che scorre su due pulegge fisse *o* ed *o'*, (*Tav.* V, *Fig.* 138) e la cui estremità inferiore è carica di un peso eguale a quello della campana. La campana è guarnita superiormente di un'appendice sulla quale possono disporsi delle sottili lamine traversate da orifizj diversi, ovvero da tubi di differenti forme. È pure fornita di un manometro *abc* che serve a misurare la pressione del gas, allorquando si diminuisce il peso *P*, ovvero quando si carica la campana di nuovi pesi; e si misura la quantità di gas scolato durante un tempo dato dall'abbassamento della campana, e la velocità dividendo il volume del gas scolato per la sezione dell'orifizio. L'esperienza dimostra che questa velocità non corrisponde colla velocità che si deduce dal teorema di Bernouilli, ma che è minore. Se ne è concluso per l'analogia coi liquidi che debba accadere anche nei gas la contrazione della vena.

Allorchè un gas scola per lunghi tubi, la velocità è molto più piccola di quando lo scolo ha luogo per orifizj fatti in pareti sottili, e tanto più quanto più i tubi sono lunghi e piccolo il loro diametro, e quanto maggiore è la velocità dello scolo.

I gasometri hanno ricevuto un'applicazione di una grande importanza dopochè l'illuminazione a gas ha subentrato nelle città a quella ordinaria ad olio. Essi servono di serbatojo al gas della illuminazione e nel tempo stesso servono al suo scolo ed alla sua distribuzione. I gasometri dell'illuminazione a gas consistono in grandi cilindri ad un sol fondo, rovesciati su di una grande cisterna piena di acqua (*Tav.* V, *Fig.* 139). Questi cilindri sono fatti di larghe lamine di ferro, e sono sostenuti da una catena che passa su due pulegge, e che porta all'altra estremità dei contrappesi. Dal fondo della cisterna s'innalzano due tubi forniti di robinetto, i quali terminano al di sopra del liquido: serve uno di questi a portare il gas nella campana dalle storte entro cui si sviluppa, e l'altro, di cui si

apre il robinetto mentre il primo si chiude, lascia passare il gas nei tubi con cui comunica, i quali suddividendosi in un'infinità di ramificazioni vanno a terminare nei beccucci da illuminazione. A mano a mano che il gas s'introduce, la campana si solleva, ed empita che sia, se ne fa uscire il gas diminuendo i contrappesi. Il medesimo esce per effetto della pressione dovuta alla differenza fra il peso della campana e quello del contrappeso. Lo scolo del gas è costante, imperocchè la diminuzione di peso che soffre la campana nell'immergersi è piccola, ed in senso contrario di questa perdita agisce l'aumento della catena discesa, e la diminuzione di quella che porta i contrappesi e che è salita per conseguenza.

Reazione proveniente dello scolo dei gas. Le pressioni che si producono contro le pareti di un vaso qualunque pieno di un gas si distruggono mutuamente quando il gas non esce, e non possono imprimere alcun movimento al vaso. Non è più così quando avviene l'efflusso da un orifizio: la pressione opposta alla direzione del medesimo non è più distrutta dalla resistenza della parete soppressa, ossia dalla pressione che esercita il gas contro quei punti della parete da cui fluisce; il vaso è perciò necessariamente trasportato in senso contrario a quello dell'efflusso. Può facilmente mostrarsi questo principio per mezzo di una vescica unita ad un robinetto terminato con un tubo mobile intorno al suo asse, il quale riceve il gas pel suo centro, e lo lascia scolare da due orifizj laterali opposti. Premendo la vescica ed obbligando il gas ad escire con violenza, si vede il pezzo mobile ruotare in senso contrario a quello dello scolo. Devesi alla reazione prodotta dall'efflusso dei gas il rinculo delle armi a fuoco ed il movimento dei razzi. Infatti, quando s'infiamma la polvere racchiusa nella culatta di un cannone, si sviluppa quasi istantaneamente un grandissimo volume di gas; questo gas preme con forza eguale tutte le pareti dello spazio nel quale è racchiuso; la parete la meno resistente, che è sempre formata dal projettile, cede, e nello stesso tempo il cannone è spinto in senso contrario colla stessa forza; ma la velocità del rinculo è più piccola nel rapporto della massa del cannone a quella del projettile, ed è distrutta bentosto dagli attriti. L'ascensione dei fuochi di

artifizio ha sempre luogo in senso contrario all'uscita dei gas che formansi per la combustione della polvere.

Influenza della pressione atmosferica sull'efflusso dei liquidi. Quando parlammo dello scolo dei liquidi si suppose che tutto si riducesse alla pressione della colonna liquida, e quindi all'altezza della sua superficie di livello sul foro. Ma l'atmosfera preme sulla superficie del liquido, e preme sul liquido che esce dal foro, ed è ora di queste pressioni che noi dobbiamo valutare l'effetto.

Poichè la pressione atmosferica equivale al peso di una colonna d'acqua alta 32 piedi, è certo che fatto un foro nel fondo di un vaso pieno di liquido, di cui l'altezza non superi 32 piedi, e che sia esattamente chiuso in alto, non potrà il liquido uscirne se l'aria non s' introdurrà a prendere il suo posto. Difatti s'immerga in un liquido un tubo aperto in alto, e di cui l'orifizio inferiore non sia molto largo; questo tubo potrà essere sollevato pieno di liquido, tenendo chiuso l'orifizio superiore: quando si aprirà quest'orifizio, poichè l'atmosfera premerà egualmente sui due fori, inferiore e superiore, il liquido scolerà in virtù del proprio peso, come se la pressione atmosferica non esistesse. È necessario che il foro inferiore non sia molto largo, senza di che la colonna liquida si divide, e l'acqua scende perchè l'aria s'introduce nel suo posto. Lo stesso accadrà prendendo un recipiente cilindrico chiuso da una parte, come un bicchiere o una campana qualunque. Se dopo averli empiti di acqua, si applicherà un foglio di carta sull'orifizio, a contatto del liquido, si potrà rovesciare impunemente senza che ne esca il liquido; e ciò perchè il foglio impedisce la divisione della colonna e quindi l'introduzione dell'aria. Su questi principj sono fondati degl'istrumenti di un uso giornaliero, cioè la pipetta, il sifone, e le lampade a livello costante.

La *pipetta* consiste in un tubo cilindrico *ab* terminato superiormente ed inferiormente da un orifizio capillare. Quando s'immerge questo tubo in un liquido, gli orifizj *m* ed *n* (*Tav.* V, *Fig.* 140) essendo aperti, il liquido s'introduce nel tubo e s'innalza allo stesso livello del liquido esterno; se allora si chiude col dito l'orifizio *n* e si estrae l'istrumento, una parte

del liquido del tubo scolerà dall'orifizio *m*; ma siccome l'aria non può rientrarvi, quella che v'era rinchiusa si dilaterà, e lo scolo si arresterà tosto che la pressione atmosferica esterna farà equilibrio alla pressione dell'aria interna dilatata, più la colonna liquida che resta nel tubo.

Il *sifone* è un tubo ricurvo *ABCD* (*Tav.* V, *Fig.* 141) di vetro o di metallo aperto alle sue due estremità, di cui uno dei bracci è più lungo dell'altro. Quando il braccio più corto di questo istrumento è immerso in un vaso pieno di un liquido e tutto il tubo è pieno del medesimo liquido, questo scola dall'orifizio *D*, e continua a scolare fintantochè il liquido del vaso non è disceso sino al livello del punto *A*. Esaminiamo come ciò avviene.

All'orifizio *A* agiscono due forze in senso contrario: il peso della colonna liquida *BA'* che tende a farla discendere, e la pressione atmosferica che agisce sulla superficie del liquido contenuto nel vaso *V*, la quale tende invece a farla salire. All'orifizio *D* agiscono pure negli stessi respettivi sensi le medesime due forze, cioè il peso della colonna liquida *CD* e la pressione atmosferica che agisce in *D*. Se i due bracci del sifone fossero eguali, o per meglio dire, se il braccio che non pesca nel liquido non scendesse al di sotto del livello *A'*, siccome le pressioni atmosferiche che agiscono in *A* e in *D* sono eguali e contrarie, e perciò si distruggono, le colonne liquide *BA'* e *CD* cadrebbero, in virtù del proprio peso, ciascuna dalla sua parte; ma poichè la colonna *CD* è più pesa della colonna *BA'* a motivo della sua maggiore altezza, la pressione atmosferica che agisce in *D* contrasta con una forza maggiore di quella colla quale la stessa pressione contrasta in *A*. Perciò accadrà come se la pressione atmosferica in *D* fosse minore, e quindi il liquido scolerà da questa parte in virtù della preponderanza della pressione che agisce su di *A*, ossia dell'eccesso del peso della colonna *CD* su quello della colonna *BA'*. A misura che lo scolo succede, si abbassa il liquido nel vaso, diminuisce la differenza di altezza fra le due colonne, e quindi la velocità dello scolo va sempre diminuendo. È inutile aggiungere che il sifone non potrebbe avere alcun effetto quando, trattandosi di travasare dell'acqua, il braccio più corto

avesse una lunghezza maggiore di 10 metri al di sopra del livello del liquido del vaso, poichè l'acqua non potrebbe sollevarsi fino a quell'altezza che è maggiore di quella della colonna barometrica.

Un sifone può esser riempito in due modi: 1.° aspirando da uno dei bracci, dopo avere immerso l'altro nel vaso. In questo caso, onde il liquido non vada in bocca, all'estremità del braccio lungo trovasi un tubo sottile *ab*, dal quale si aspira, tenendo chiusa l'estremità *D* (*Tav.* V, *Fig.* 142). 2.° Si può riempire direttamente il sifone tenendolo rovesciato ed inclinato in modo che le due estremità dei bracci sieno allo stesso livello; si chiude allora l'apertura *D* col dito, si rovescia il sifone, si pone il braccio più corto nel vaso e si stappa l'orifizio *D*. La figura 143, rappresenta un sifone che agisce da sè stesso, quando si versa dell'acqua nel vaso che lo contiene. Supponiamo che l'acqua nel vaso non s'inalzi completamente fino alla sommità del sifone, ma vi sia molto prossima; allora non si produce alcun fenomeno; ma se aggiungonsi poche gocce di più, il liquido che s'è inalzato nel ramo più corto, oltrepassa la sommità, il sifone si empie ed il vaso si vuota completamente. Questo apparecchio che si vuota volendolo riempire, ha ricevuto il nome di *Vaso di Tantalo*.

Lampade a livello costante. Il principio su cui è fondata la costruzione di queste lampade, è quello stesso pel quale l'acqua rimane sempre allo stesso livello nei beveratoj degli uccelli e nei calamai sifoidi (*Tav.* V, *Fig.* 144). Il liquido di questi apparecchi vien tolto a poco a poco dall'orifizio, e quando il livello si abbassa un poco al di sotto del gomito *c*, una bolla d'aria vi penetra, ed il livello risale alquanto nel beccuccio *a*; poi quando si abbassa di nuovo un'altra bolla lo risolleva, fintantochè tutto il liquido non è disceso al livello *c*. Nelle lampade a livello costante, l'olio è contenuto in un serbatojo *v* (*Tav.* V, *Fig.* 145), terminato inferiormente da un tubo aperto da un foro *a*. Il canale *b* stabilisce la comunicazione fra il beccuccio della lampada ed il serbatojo; ma la sommità del beccuccio è tre o quattro millimetri al di sopra del foro. Questo canale si riempie d'olio, fino ad oltrepassare di poco l'altezza del foro *a*. L'olio sale nel lucignolo in virtù

dell'azione capillare, ed a misura che per la combustione il livello si abbassa un poco nel beccuccio, e conseguentemente al di sotto del foro: allora l'aria può entrare nel serbatojo e far cadere l'olio, il quale solleva il livello nel beccuccio, ed intorno al tubo; poi, consumata questa nuova provvisione, lo stesso fenomeno si riproduce. Il tubo rimanendo nuovamente allo scoperto, un'altra bolla d'aria ascende nel serbatojo, e fa discendere un egual volume d'olio, che solleva il livello. In questa guisa tutto l'olio della lampada giunge goccia a goccia al lucignolo con delle intermittenze tanto prossime che lo splendore della fiamma rimane costante. Per riempire il serbatojo, si leva e si rovescia, ma poichè l'apertura del tubo dev'essere piuttosto ampia affinchè la colonna si divida, senza di che le bolle d'aria non potrebbero salire, vi si adatta una valvola munita di un'asta; si chiude la valvola per fare il rovesciamento e riporre al posto il serbatojo; allora si apre mediante l'eccesso della lunghezza dell'asta, e rimane costantemente aperta.

Per mezzo della pressione atmosferica fatta convenientemente agire sugli orifizj di un recipiente convenientemente disposto, si può ottenere da questo un efflusso di liquido animato da una velocità costante; ovvero un efflusso intermittente.

Il primo effetto si ottiene per mezzo dell'*apparecchio di Mariotte*. Consiste in un recipiente *ABCD* (*Tav.* V, *Fig.* 146) fornito di un tubo *t* che può scorrere nel tappo della tabulatura *b*, e di cui l'estremità inferiore è successivamente abbassata al punto *p*, al di sotto del livello *nv* dell'apertura laterale, o sollevata al punto *h* al di sopra dello stesso livello. L'apertura laterale è assai stretta per impedire che la colonna liquida possa dividersi. Il tubo essendo in *p* e completamente pieno di acqua, come anche il vaso, è chiaro che il liquido deve scolare dall'orifizio laterale *v*, giacchè la pressione interna si compone della pressione atmosferica che esercitasi alla sommità del tubo, e della pressione dovuta al peso della colonna liquida *sn*, mentre la pressione esterna non è che la pressione atmosferica. Il liquido sgorga difatto, e il livello cade rapidamente nell'interno del tubo dal punto *s* al punto *n*; quivi si arresta, e lo scolo cessa. Il vaso resta pieno, l'orifizio *v*

resta aperto, e nullameno non esce una goccia di liquido. Su tutta l'estensione dello strato orizzontale *n'nv* la pressione essendo la stessa che al punto *n*, cioè a dire una pressione atmosferica, il liquido non può più scolare. Sopra un altro strato *c'c* la pressione è minore della pressione atmosferica, dell'altezza della colonna *c'n'*. Si faccia risalire il tubo fino al punto *h*: tosto lo scolo ricomincia e continua con una *velocità costante*, durante tutto il tempo che il livello del liquido discende dalla sommità del vaso fino in *h*, giacchè la pressione sullo strato *n'nv* si compone allora della pressione atmosferica che esercitasi in *h*, e della pressione che è dovuta al peso della colonna *hn*; pressioni che restano ambedue costanti, fintantochè il livello non è giunto in *h*. Da quel momento la velocità di scolo diminuisce sempre più, fino a divenire intieramente nulla, quando il livello è giunto al punto *n*. Uno scolo intermittente si ottiene per mezzo della così detta *fontana intermittente* (*Tav.* V, *Fig.* 147). L'acqua del serbatojo superiore scola dagli orifizi *j*, cade in un primo bacino concavo, il cui punto più basso è forato da un orifizio strettissimo, per mezzo del quale essa ricade in un secondo bacino piano, che forma il piede della fontana. Quando l'acqua si è accumulata in fondo al primo bacino essa bagna l'estremità del tubo *tt'*, per mezzo del quale l'aria giunge alla sommità del serbatojo superiore; allora lo scolo cessa fintantochè l'estremità inferiore di questo tubo non riman libera. Appena ciò accade, vedesi una bolla d'aria che ascende nel tubo per ristabilire una sufficiente pressione alla superficie superiore del liquido; e lo scolo ricomincia: il liquido scolato bagna nuovamente il tubo, intercetta la comunicazione dell'aria, e bentosto la pressione diviene insufficiente, e lo scolo cessa. Può dunque variarsi la durata delle intermittenze, variando il rapporto che esiste fra i tubi di scolo della fontana, e l'orifizio di comunicazione del primo e del secondo bacino.

Delle macchine più importanti, il giuoco delle quali è fondato sulle proprietà dell'aria.

Macchine per la dilatazione dell'aria. Sia *A* (*Tav.* V, *Fig.* 148) un pallone pieno d'aria, sormontato da un cilindro nel quale si muove uno stantuffo. La parte inferiore del corpo di pompa

e lo stantuffo sono traversati da due aperture guarnite di due valvole m ed n, che chiudonsi per una pressione dall'alto al basso. Quando si alza lo stantuffo, l'aria che era al di sotto si dilata, e perde una porzione della sua forza elastica, mentre l'aria rinchiusa nel recipiente A apre la valvola m e s'introduce in parte nel corpo di pompa. Quando si abbassa lo stantuffo, il gas del corpo di pompa essendo compresso, chiude prima la valvola m, ed apre quindi la valvola n, per la quale svolgesi. Perciò ad ogni ascensione dello stantuffo, una porzione dell'aria del serbatojo passa nel corpo di pompa, e ad ogni abbassamento quest'aria è versata nell'atmosfera: conseguentemente continuando il giuoco dello stantuffo, si dilaterà sempre più l'aria del recipiente. Per calcolare l'effetto di questa macchina bisogna conoscere il rapporto delle capacità del recipiente e del corpo di pompa. Supponiamo per esempio che queste capacità sieno eguali: alla prima ascensione dello stantuffo l'aria del recipiente si estenderà in uno spazio doppio; quindi resterà nel pallone uno stesso volume d'aria, del quale la densità, la forza elastica, e la massa saranno ridotte a metà; dopo la seconda ascensione la massa restante sarà $\frac{1}{4}$ di ciò che era prima; dopo la terza $\frac{1}{8}$, e così di seguito. Se il corpo di pompa avesse una capacità eguale alla sola metà di quella del recipiente, ad ogni inalzamento dello stantuffo, l'aria del recipiente si estenderebbe in uno spazio metà più grande; quindi ad ogni movimento dello stantuffo l'aria del pallone diminuirebbe di $\frac{1}{3}$ di massa, densità e forza elastica. È facile osservare cogli stessi ragionamenti che se il volume del corpo di pompa fosse $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$ ec. di quello del recipiente, ad ogni colpo di stantuffo l'aria del recipiente diminuirebbe di $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$ ec. Segue da ciò, che con un numero di colpi di stantuffo, tanto più grande quanto più piccola è la capacità dello stantuffo rispetto a quella del recipiente, si potrà sempre giungere a lasciare nel medesimo una quantità d'aria tanto piccola quanto si vorrà, ma che per quanto si prolunghi l'azione dello stantuffo non si potrà mai giungere a fare un vuoto perfetto. Chiamando V il volume del pallone, P il volume del corpo di pompa percorso dallo stantuffo, ed infine p la pressione atmosferica; la forza elastica dell'aria rinchiusa nel pallone, sarà dopo il primo colpo

di stantuffo eguale a $p. \frac{V}{P+V}$ dopo il 2° a $p. \frac{V}{V+P}$.
$\frac{V}{V+P} = p\ (\frac{V}{V+P})^2$; dopo un numero n di colpi sarà

$$p\ (\frac{V}{V+P})^n$$

Macchina pneumatica. La macchina pneumatica inventata nel 1650 da Otto de Guericke, borgomastro di Magdebourg, non è molto diversa dall'apparecchio che abbiamo descritto; ma in essa il corpo di pompa ed il serbatojo sono disposti in un modo più comodo. Nelle macchine ordinarie (*Tav.* V, *Fig.* 149 e 150) vi sono due corpi di pompa; gli stantuffi sono forniti di aste dentate che ingranano in una ruota dentata posta in moto da una leva *MN*, per mezzo della quale salgono e scendono alternativamente. In questo modo si distrugge l'effetto della pressione atmosferica che si oppone al sollevamento dello stantuffo, agendo questa pressione ad abbassare l'altro stantuffo che scende. Le valvole di aspirazione sono chiuse da dei coni guarniti di cuojo che entrano in cavità della stessa forma. Queste valvole sono fissate a delle aste che traversano gli stantuffi: questi inalzandosi sollevano le valvole fino ad una piccola altezza; e nel riabbassarsi le ripongono in sito. Le valvole degli stantuffi sono pure coniche e ritenute da una molla a spirale. I due corpi di pompa comunicano per mezzo di uno stesso canale con un orifizio *K* che traversa il centro del piatto di vetro spulito, su cui si posano le campane che fanno l'ufficio di recipienti. L'estremità del canale che termina coll'orifizio *K* è fatta a vite, onde adattarvi i palloni a robinetto da cui si vuole estrar l'aria. Il canale interno comunica con una campana di vetro *PQ*, contenente un barometro troncato che fa da manometro. Infine due robinetti *Z* ed *S* sono destinati il primo a lasciar rientrare l'aria nell'apparecchio e ad intercettare o a stabilire la comunicazione fra il serbatojo ed il corpo di pompa, ed il secondo a far comunicare la campana *PQ* col recipiente. La chiave del robinetto *Z* è forata da un canale *x* che la traversa perpendicolarmente (*Tav.* V, *Fig.* 151), e da un canale *yz*, che va a sboccare nell'aria in cima alla chiave; l'apertura *z* di questo canale è chiusa

con un tappo. Quando la macchina deve tenere il vuoto si gira l'apertura laterale *y* verso il corpo di pompa, e per render l'aria si gira verso la campana e si toglie il tappo. Le valvole d'aspirazione sono coniche, onde chiudano più esattamente. Sono sollevate dagli stantuffi, onde la comunicazione del recipiente col corpo di pompa possa stabilirsi, qualunque sia la forza elastica dell'aria contenuta nel primo. Nella costruzione delle macchine pneumatiche, bisogna soddisfare più che si può ad una condizione importante di cui non abbiamo anche parlato: lo stantuffo, al limite inferiore del suo tragitto deve giungere esattamente alla parte inferiore del corpo di pompa, in modo da non lasciare spazio fra sè e il fondo di esso. Infatti se vi restasse un certo volume d'aria, la medesima avrebbe la stessa densità dell'aria esterna: conseguentemente quando si sollevasse lo stantuffo essa si dilaterebbe, e non passerebbe nel corpo di pompa che tant'aria della campana quanto lo permettesse la differenza tra la forza elastica dell'aria rimasta nel corpo di pompa, e dilatata fino alla sommità del tragitto dello stantuffo, e quella dell'aria rinchiusa nella campana. E poichè tal condizione mai si raggiunge completamente, così nelle ordinarie macchine pneumatiche, quantunque buone, non si giunge a fare il vuoto che a 2 o 3 millimetri; ma si deve a Babinet una modificazione molto ingegnosa per mezzo della quale il vuoto può farsi a meno di un millimetro. Al punto della biforcazione del canale che parte dal centro del piatto, per comunicare coi due corpi di pompa trovasi un robinetto, nella cui massa sono praticati varj condotti, di cui si approfitta successivamente, girandolo in due posizioni differenti. La *Tav.* V, *Fig.* 152 rappresenta una sezione orizzontale del robinetto, situato in posizione tale da stabilire la comunicazione fra l'orifizio *K* del piatto e le valvole *o* ed *s*, per mezzo della sua apertura centrale e delle due aperture laterali. La macchina allora agisce nel modo ordinario. Nella *Fig.* 153 il robinetto si è fatto rotare di un quarto di giro; il canale trasversale *db*, che nella figura precedente era orizzontale, ora è verticale, ed i suoi orifizi si trovano chiusi dalle pareti che abbracciano il robinetto. Ma un secondo canale, che prima non agiva e che

prese il posto del primo, mette ora il solo corpo di tromba destro in comunicazione col recipiente mediante il canale *ebs*; inoltre il corpo di tromba destro è posto in comunicazione col sinistro per mezzo di un condotto *aeo* (*Tav.* V, *Fig.* 153) o *aico* (*Tav.* V, *Fig.* 154). Questo condotto parte da un'apertura centrale *a* situata alla base del corpo di tromba destro, attraversa il robinetto, e giunge alla valvola *o* dell'altro corpo di tromba, come mostrano le *Fig.* 153 e 154; ma questo condotto si trova interrotto dal medesimo robinetto, quando quest'ultimo è nella sua prima posizione, come mostra la Figura 153. Ciò posto, quando lo stantuffo destro discende, respinge l'aria che va comprimendo nel corpo di tromba sinistro a traverso dell'orifizio *a* del canale *ci*, e della valvola *o*, la quale trovasi allora aperta. Successivamente, allorchè il medesimo stantuffo s'innalza, lo stantuffo sinistro si abbassa; ma l'aria che trovasi al di sotto di esso non ritorna nel corpo di tromba destro, essendo allora chiusa la valvola *o*. Lo stantuffo destro continua per tal maniera ad aspirare l'aria del recipiente ed a respingerla nel corpo di tromba sinistro; l'aria vi si condensa, e giunge ad acquistare la tensione che basta per sollevare la valvola dello stantuffo, ciocchè era impossibile prima che si adattasse l'uso del robinetto a doppio canale. Ogni volta che si giunge così a fare aprire la valvola dello stantuffo, una porzione d'aria viene espulsa.

Macchine per comprimer l'aria. Sia *A* (*Tav.* V, *Fig.* 155) un pallone sormontato da un cilindro nel quale si muove uno stantuffo; supponiamo che la parte inferiore del cilindro come anche lo stantuffo sieno traversati ciascuno da un'apertura guarnita di una valvola che si apra per una pressione d'alto al basso; quando s'inalzerà lo stantuffo, la valvola *m* si chiuderà per la forza elastica dell'aria contenuta nel pallone, la valvola *n* si aprirà per la pressione dell'atmosfera, ed il cilindro si riempirà d'aria alla pressione esterna. Quando si farà discendere lo stantuffo, l'aria del cilindro si comprimerà, la valvola d'aspirazione *n* si chiuderà; mentre la valvola *m* si aprirà, e l'aria del corpo di pompa penetrerà nel pallone. È evidente che ad ogni colpo di stantuffo s'introdurrà nel pallone lo stesso volume d'aria, e in conseguenza

se la resistenza del pallone è sufficiente si potrà aumentare indefinitamente la densità e la forza elastica dell'aria che contiene. Se la capacità del corpo di pompa fosse eguale a quella del serbatojo, le quantità d'aria aumentata dopo 1, 2, 3 ec. colpi di stantuffo sarebbero 2, 3, 4 ec. Perciò dopo 30 colpi di stantuffo la densità sarà trentuna volta più grande che in principio. Se la capacità del corpo di pompa fosse solamente $\frac{1}{2}$ di quella del recipiente, la densità sarebbe successivamente 1, $\frac{3}{2}$, $\frac{4}{2}$, $\frac{5}{2}$. In generale sarà sempre facile di calcolare la densità dell'aria accumulata, dopo un numero dato di colpi di stantuffo, quando si conoscerà il rapporto delle capacità del corpo di pompa e del recipiente. Designando con V il volume del pallone, con P quello del corpo di pompa, e con p la pressione atmosferica, la tensione dell'aria del serbatojo sarà dopo il primo colpo di stantuffo $p. \frac{P + V;}{V}$ dopo n colpi sarà $p. \frac{n P + V.}{V}$

La macchina che adoprasi spesso in fisica per accumulare l'aria in un recipiente dicesi *Macchina di compressione*. È assolutamente simile alla macchina pneumatica; solamente le valvole sono tutte ritenute da molle, e muovonsi in senso contrario. La sua provetta è un tubo stretto, chiuso alla sua sommità, pieno di aria, ed immerso colla sua estremità inferiore in un pozzetto di mercurio. Al principio dell'esperienza l'aria del tubo è sotto la pressione atmosferica, ed il mercurio è allo stesso livello all'esterno ed all'interno; a misura che la pressione aumenta, il mercurio sale nel tubo, il volume dell'aria si riduce successivamente alla metà, al terzo o al quarto di ciò che era; e secondo la legge di Mariotte, si giudica che è sotto la pressione di due, tre o quattro atmosfere.

Il soffietto comune, semplice o doppio, agisce pel principio della macchina di compressione. Difatti quando si comprime l'aria del soffietto (*Fig.* 156), la valvola s' si apre; mentre la valvola s si chiude, e l'aria esce dal tubo t; quando invece si dilata, chiudesi la valvola s', e si apre la valvola s che dà adito a nuova aria nell'interno del soffietto. È sugli

stessi principj che si fonda il fucile a vento. La cassa di questo fucile contiene un recipiente con valvole opportune per potervi comprimere l'aria sotto la pressione di 8 a 10 atmosfere. Si unisce a questa cassa, per mezzo di vite, la canna che riceve il projettile e ne dirige il movimento. Per mezzo dello scatto di una molla si apre per un istante la valvola di comunicazione fra la cassa e la canna: l'aria esce con violenza, la palla è lanciata, e la valvola si richiude.

Sul giuoco dell'aria compressa è fondata la costruzione di alcuni apparecchi, da cui si fa variamente zampillare l'acqua. Tali sono, per esempio, la *fontana di Erone e la fontana di compressione*. La fontana di Erone si compone di tre recipienti A, B, C, e di tre tubi x, y, z (*Tav.* V, *Fig.* 157). Il primo tubo x discende dal fondo del vaso superiore A, nel fondo del vaso inferiore C; il secondo y s'innalza dalla sommità del vaso medio B; infine il terzo z s'innalza dal fondo del vaso inferiore alla sommità del vaso medio, al di sopra del vaso superiore; è questo il tubo di sgorgo. Si comincia dall'empire di acqua il vaso medio, poi si chiude con un turacciolo l'orifizio che ha servito a riempirlo; allora si versa dell'acqua nel vaso superiore; di questa ne discende alquanta in fondo al vaso inferiore, finchè l'estremità del tubo x ne sia bagnata, ma l'aria compressa in questo vaso e nel vaso medio, non avendo alcuna uscita, impedisce colla sua forza elastica che l'acqua del vaso superiore continui a discendere nel vaso inferiore. Quando si apre il robinetto del tubo di sgorgo z, questo eccesso d'elasticità dell'aria, agisce sull'acqua del vaso B, e la fa zampillare ad una certa altezza. Questo sgorgo si mantiene per mezzo dell'acqua del vaso superiore, che continua allora a discendere nel vaso inferiore, per comprimer l'aria facendola passare nel vaso medio. Una fontana di Erone assai più semplice consiste in un tubo di vetro due volte ricurvo (*Tav.* V, *Fig.* 158), fornito in a di una specie d'imbuto, e terminato in d da un'apertura capillare. È fornito in e ed in b di due palle capaci di contenere una certa quantità di liquido. Si empie prima la palla b ed una porzione del tubo bd di acqua, quindi se ne empie la palla e. Poscia si seguita ad aggiungere dell'acqua nel tubo ae, e si vede la colonna liquida sollevarsi

in questo tubo, ed uscire invece con forza uno zampillo di liquido dall'apertura *d*, in grazia della pressione che soffre l'aria compresa fra *e* e *b*.

La *Fontana di Compressione* (*Fig.* 159) consiste in un vaso di rame *V* di pareti solide, nell' interno del quale penetra un tubo *t*, guarnito esternamente di un robinetto *r*; questi due pezzi sono saldati insieme, e il loro insieme può invitarsi sul collo del vaso *V*; *j* è il tubo di sgorgo che s'invita al di sopra del robinetto *r*. Nel vaso l'acqua giunge fino al livello *nn'*. Per mezzo della pompa premente, che adattasi in luogo del tubo *j* sopra al robinetto, si comprime l'aria nello spazio *nan'*. Allora la fontana è carica, si chiude il robinetto; si toglie la pompa, s'invita il tubo *j*, e aprendo il robinetto il liquido zampilla ad una grande altezza, cioè a 10 od anche a 50 metri se l'aria è compressa a 2 o a 5 atmosfere.

Pompe o Trombe. Distinguonsi ordinariamente tre specie di pompe: le pompe aspiranti, le pompe prementi, e le pompe aspiranti e prementi, altrimenti dette pompe composte.

La *Pompa aspirante* si compone di un canale *AB* (*Tav.* V, *Fig.* 160) chiamato corpo di pompa, la cui estremità inferiore è immersa nell' acqua, e nella quale si fa salire e scendere a volontà, per mezzo di un'asta *T*, uno stantuffo *P* che riempie esattamente l'interno del corpo. Questo stantuffo è munito di una valvola *F* che apresi di basso in alto; e nell'interno del corpo di pompa, ad una distanza minore di 32 piedi dal livello dell' acqua trovasi una seconda valvola *F'* che apresi nello stesso senso. Quando si discende lo stantuffo *P*, la valvola *F'* riman chiusa pel proprio peso; ma la valvola *F* vien sollevata dalla forza elastica dell'aria compresa fra lo stantuffo e la valvola *F'*, e quest'aria fugge. Quando si solleva lo stantuffo *P*, formasi un vuoto al di sotto di esso; la valvola *F* si chiude da sè, sia per l'effetto del proprio peso che della pressione atmosferica; la valvola *F'* invece è sollevata dalla forza elastica dell'aria compresa fra essa e la superficie dell'acqua. Quest'aria adunque si spande in parte nello spazio vuoto che è al di sotto dello stantuffo *P*, e la sua forza elastica necessariamente diminuendo, la pressione dell'atmosfera fa salire l'acqua ad una certa altezza nella parte del corpo

di pompa situata al di sotto della valvola *F*. Se si abbassa nuovamente lo stantuffo *P*, la valvola *F'* si chiuderà, la valvola *F'* si aprirà, e l'aria dello spazio *FF'* sortirà. Si solleverà nuovamente lo stantuffo *P*, la valvola *F* si chiuderà, la valvola *F'* si aprirà e lascerà passare al di sotto di sè una nuova quantità di aria sottoposta, lo che farà pure salire nel corpo di pompa un'altra quantità di acqua, e così di seguito. S'intende facilmente che questo giuoco continuo dello stantuffo farà ben tosto salir l'acqua al di sopra della valvola *F'*. Lo stantuffo essendo allora portato a contatto di questa valvola, il liquido salirà al di sopra della valvola *F*, ed una certa quantità di esso potrà essere trasportata dallo stantuffo a quell'altezza che si vorrà, e scolare da un canale laterale *o*. Onde una pompa aspirante sia propria a adempiere il suo oggetto è necessario che la valvola *F'* del corpo di pompa non sia posta ad un'altezza maggiore di 32 piedi al di sopra del livello dell'acqua, poichè al di là di questo limite si potrebbe fare il vuoto, quanto si volesse, nello spazio *M*, senza che mai l'acqua salisse fino ad *F'*, e ciò perchè il peso dell'atmosfera non può sollevare una colonna d'acqua ad un'altezza maggiore di 32 piedi.

La *Pompa premente* si compone pure di un corpo di pompa *AB* (*Tav.* V, *Fig.* 161), nel quale sale e scende a sfregamento lo stantuffo *P*. Ma questo stantuffo è intieramente pieno, ed il canale dal quale scola l'acqua ha origine nella parte inferiore del corpo, di pompa ed immergesi in parte nel serbatojo *mn*. All'ingresso di questo canale trovasi una valvola *F*, che apresi dall'interno all'esterno del corpo di pompa, e questo è fornito immediatamente al di sotto del canale laterale, di una seconda valvola *F'* che apresi di basso in alto. Quando si abbassa lo stantuffo *P* la valvola *F'* riman chiusa, mentre apresi la valvola *F* per lasciare uscire l'aria compressa; quando s'innalza chiudesi la valvola *F* ed apresi la valvola *F'*; e poichè l'acqua tende a livellarsi, penetra al di sopra di essa, dopo di che la valvola richiudesi. Si abbassa nuovamente lo stantuffo *P*; la valvola *F* si apre e lascia passare l'acqua che si era introdotta nel corpo di pompa, la quale sollevasi nel canale laterale fino ad una certa altezza. Continuasi così

a fare agire lo stantuffo *P*, di modo che ogni volta che si solleva, una certa quantità d'acqua giunge al di sopra della valvola *F*, ed ogni volta che scende, respinge quest' acqua nel canale laterale, in guisa che trovasi bentosto all'altezza dell'orifizio *o*, e scola da questo. La pressione atmosferica non ha alcun giuoco in questa pompa, di modo che essa produrrebbe gli stessi effetti nel vuoto, mentre che l'acqua non sale nella pompa precedente che pel peso dell'atmosfera, e in conseguenza non produrrebbe alcun effetto nel vuoto.

La *Pompa composta*, così detta perchè riunisce gli effetti delle due pompe precedenti, non differisce dalla pompa premente che nell'avere la valvola *F'*, e quindi il canale laterale al di sopra del livello dell'acqua *mn* (*Tav.* V, *Fig.* 162). Quando si abbassa lo stantuffo *P*, la valvola *F'* si chiude, e tutta l'aria compresa nello spazio *M* sorte dalla valvola *F*. Quando s'innalza lo stantuffo *P*, la valvola *F* si chiude, la valvola *F'* si apre, e l'aria compresa fra di essa ed il livello dell'acqua si spande in parte nel vuoto formatosi al di sotto dello stantuffo. Vedesi adunque che facendo agire sufficientemente lo stantuffo *P*, si giungerà bentosto ad inalzare l'acqua al di sopra della valvola *F*: di là si spingerà nel canale laterale al di sopra della valvola *F*, e si potrà così far salir l'acqua in questo canale, in modo che scoli dall'orifizio laterale. Coll'aggiunta di un serbatojo d'aria al canale laterale, si rende il getto continuo. L'acqua, pel giuoco dello stantuffo *P*, s'inalza nel serbatojo *AC* (*Tav.* V, *Fig.* 163), e comincia a condensarvi l'aria che vi si trova rinchiusa; dopo pochi colpi di stantuffo, l'acqua esce dal canale *S*; e poichè l'aria preme continuamente sulla superficie *AC* del serbatojo, lo scolo del liquido sarà continuo, mentre che nella pompa precedente lo scolo non è prodotto che dall'abbassamento dello stantuffo. La pratica insegna che bisogna dare al serbatojo d'aria una capacità circa 23 volte maggiore di quella del corpo di pompa. La pompa premente così modificata serve per l'innaffiamento dei giardini. La pompa da incendio si compone di due corpi di pompa (*Tav.* V, *Fig.* 164) fra i quali trovasi un serbatojo d'aria. Questa pompa è posta in un recipiente pieno di acqua; l'acqua è aspirata dalla pompa e respinta nel serbatojo, d'on-

de è spinta per mezzo di un canale di cuojo nella direzione voluta. Questo serbatojo agisce come fontana di compressione, giacchè a misura che l'acqua vi si accumula, l'aria che v'è contenuta aumenta continuamente di forza elastica.

Pressa Idraulica. Abbiamo già esposto il principio su cui riposa questa macchina; possiamo adesso entrare nella descrizione dei suoi dettagli. Il corpo della pressa *A* (*Tav.* V, *Fig.* 165) è un cilindro di bronzo o di ghisa, aperto nella sua parte superiore in modo da ricevere lo stantuffo *P*. – *C* è un piano di ghisa fisso sullo stantuffo, che sale e discende con lui, e che serve a premere gli oggetti contro il piano fisso *TT* sostenuto da delle colonne di ferro *DD*. – *F* è una pompa d'iniezione aspirante e premente che agisce per mezzo della leva *Gd*. *R* è un serbatojo d'acqua nel quale questa pompa si alimenta; *KK* è il tubo di comunicazione fra le due pompe; infine *L* è una valvola a pesi, per mezzo della quale si può misurare la pressione dell'acqua. Manovrando la leva *Gd* si solleva lo stantuffo della pompa d'iniezione, ed il corpo di pompa si riempie d'acqua. Quando poscia si abbassa lo stantuffo, quest'acqua è respinta nel tubo *KK*; essa introducesi nel cilindro *A*, solleva lo stantuffo *P*, e lo costringe a salire col piatto *C*, che preme a sua volta gli oggetti che trovansi situati fra la sua superficie ed il piano *TT*. Resulta dal principio sul quale questo apparecchio è fondato, che se la superficie dello stantuffo della pompa d'iniezione è, per es., la centesima parte della superficie dello stantuffo *P*, uno sforzo di una libbra esercitato sul primo, produrrà sul secondo una pressione di basso in alto equivalente a 100 libbre. Ma per mezzo della leva *Gd*, un sol uomo, può esercitare sullo stantuffo della pompa d'iniezione uno sforzo di 1000 libbre; dunque in questo caso la pressione che eserciterà lo stantuffo *P*, sarà eguale a 100,000 libbre.

Applicazione della pressione atmosferica come forza motrice. Strade ferrate atmosferiche. — Non sono molti anni che la pressione atmosferica si è applicata come motore dei convogli sopra le strade ferrate. La prima idea di questa applicazione devesi a Clegg ed a Samuda, irlandesi. Ci è noto che la pressione ordinaria dell'atmosfera corrisponde a chilog. 1,033 per ogni centimetro quadrato della superficie sulla quale si esercita,

per cui la pressione che si eserciterebbe sulla superficie di un circolo avente per diametro 50 centimetri, sarebbe eguale al peso di 2027 chilogrammi. Non è dunque strano che siasi proposto una forza così considerevole in sostituzione della macchina locomotiva a vapore, il mantenimento della quale è assai dispendioso. Ecco pertanto il processo pneumatico per mezzo del quale si è giunti a mettere in movimento un convojo sopra una strada ferrata, per mezzo della pressione atmosferica. Fra le guide di una strada ferrata immaginiamo disteso longitudinalmente un tubo o canale di una lunghezza più o meno grande, in cui possa moversi dolcemente, scorrendo sulla superficie interna, uno stantuffo. Se la pressione atmosferica agirà egualmente da un lato e dall'altro di questo stantuffo, esso non potrà concepire alcun movimento. Ma se da una parte si toglierà l'aria, la pressione atmosferica dalla parte opposta lo sospingerà e lo farà muovere entro il tubo. A quest'effetto all'estremità del tubo opposta a quella ov'è incastrato lo stantuffo, è applicata una grandiosa macchina pneumatica che serve all'estrazione dell'aria. La pressione che agirebbe sullo stantuffo sul principio dell'azione della macchina pneumatica sarebbe debole, e non potrebbe produrre che una piccola velocità, ma può questa rendersi notabilissima tenendo fermo lo stantuffo per tutto il tempo che la macchina pneumatica continua a fare il vuoto. Difatti, supposto fermo lo stantuffo, la differenza delle pressioni che agiscono sulle superfici opposte dello stantuffo va sempre aumentando, e sarebbe la massima quando il vuoto nel tubo fosse perfetto; ma ciò non è mai possibile ottenere. I manometri uniti ai tubi di simili strade ferrate segnano ordinariamente 26 a 24 centimetri, cioè a dire un terzo soltanto dell'intera pressione dell'atmosfera. Quindi la pressione che si esercita sulla superficie esterna dello stantuffo è di $\frac{2}{3}$ circa dell'intiera pressione atmosferica, e quindi di circa chilogrammi 0,69 per ogni centimetro quadrato, e per una superficie di 1000 centimetri quadrati, che è presso a poco quella che hanno ordinariamente gli stantuffi, è di circa 690 chilogrammi, forza più che sufficiente a muovere sopra rotaje orizzontali un grande convoglio. La maggior difficoltà però s'incontra nel congiungere il convoglio collo stan-

tuffo. Se si trattasse di un tubo di poca lunghezza, cioè a dire di 100 a 200 metri, s'intende che allo stantuffo potrebbe attaccarsi una fune di tal lunghezza, che trascinasse il convoglio; ma per l'applicazione di questo principio alle strade ferrate, bisogna potere agire su tutte le lunghezze. Il Clegg ed il Samuda hanno risoluto il problema nel modo seguente. Essi hanno praticato una fenditura da un capo all'altro del tubo, e per la medesima hanno fatto passare un'asta che attacca la parte posteriore dello stantuffo motore ad un vagone, e così gli comunica il suo movimento; ed affinchè il tubo rimanga chiuso per farvi il vuoto, la fenditura è chiusa da una valvola longitudinale di cuojo, uno dei cui margini è fissato al tubo, da un lato dell'apertura longitudinale. Questa valvola è armata di lamine di ferro onde possa resistere alla pressione atmosferica; e non di meno conserva una sufficiente flessibilità, essendo esse piccole e numerose. Lo stantuffo che ha più di sei metri di lunghezza, porta seco una specie di vomere, ovvero certe ruotelle situate poco innanzi all'asta di congiunzione, le quali di mano in mano sollevano la valvola per lasciar passare l'asta raccomandata allo stantuffo, la quale è ripiegata in guisa da passare intorno ai margini della valvola senza aprirla di soverchio. La *Fig.* 166 della *Tav.* V rappresenta questa disposizione: *H* è la valvola, *D* l'asta di comunicazione, *G* una delle ruote sollevatrici della valvola. Così nel punto in cui trovasi la testa dello stantuffo le valvole chiudono ermeticamente il tubo, poichè non sono state per anco sollevate; e perciò esiste vuoto nella parte anteriore, e la valvola sollevata introduce l'aria che lo spinge dalla parte posteriore. Quando l'asta è passata, la valvola pel proprio peso torna al suo posto, ed una ruota pesante che vi passa sopra, e che è unita al vagone che immediatamente segue il vagone di rimorchio, la fa di nuovo combaciare coi labbri della fenditura del tubo. Inoltre le valvole sono abbondantemente spalmate sui bordi da un intonaco di cera ed olio, e siccome lo stantuffo col solo suo attrito in una corsa rapidissima può riscaldare il tubo, questo riscaldamento basta per rammollire l'intonaco, il quale così chiude ermeticamente le connessioni delle valvole. Per tal modo, quando un convo-

glio ha percorso il tronco di strada corrispondente al tratto di tubo cui è destinata una macchina pneumatica, questa macchina può ricominciare la sua azione, e preparare il vuoto per la corsa di un convoglio successivo. Il vuoto, entro un tubo della lunghezza di un miglio inglese (1609,34 metri) si forma nello spazio di dieci minuti circa. La corsa di un miglio inglese può compiersi dal convoglio in uno o due minuti. Fino ad oggi le strade ferrate a pressione atmosferica non sono state applicate che a dei tratti non molto lunghi. La prima strada di questo genere fu costruita dagl'inventori Clegg e Samuda, in Irlanda fra Kingstown e Dalkey. Questa strada non ha che una lunghezza di 2,800 metri. In Francia ne esiste una presso la città di S.t Germain, di una lunghezza poco diversa da quella citata, la quale ha un dolce declive, e serve al trasporto dei convogli della strada ferrata di Parigi fino sulla cima del colle su cui è situata la città di S.t Germain. Le macchine pneumatiche che servono a fare il vuoto nel tubo del cammino atmosferico, sono situate alla sommità della strada, ed agiscono per mezzo di macchine a vapore. Sembra che l'applicazione in grande di questo sistema di strade ferrate presenti delle notevoli difficoltà, fra le quali principalissima quella del numero considerevole di macchine pneumatiche che dovrebbero situarsi lungo la strada. Recentemente l'Arnollet ha progettate varie importanti modificazioni, in grazia delle quali il sistema diverrebbe più facilmente applicabile in grande; ma i limiti del nostro Corso, non ci permettono di entrare nella loro disamina.

Applicazione dell'aria compressa come forza motrice. L'aria si presenta come motore eziandio per la sua elasticità, al pari di qualunque altro gas. Egli è per questo che si è proposta l'aria compressa per esser sostituita al vapore nelle locomotive delle strade ferrate. Noi non possiamo qui entrare nei dettagli di quest'applicazione; ma ne daremo soltanto dei cenni. Nella ricerca di un agente da sostituirsi al vapore si ha principalmente in mira di ritrovare un agente universale del minimo costo, del quale chiunque possa disporre, e che possa esser conservato fino al momento in cui ne occorre l'uso. Quest'ultima condizione, la quale manca assolutamente

al vapore, basterebbe di per sè sola a preferire l'applicazione dell'aria compressa. Si citano delle esperienze nelle quali l'aria venne compressa fino a 114 ed anche 120 atmosfere. Dell'aria considerevolmente compressa è una molla potente che conserva per un tempo indeterminato tutta la sua elasticità. Un macchinista francese, un certo Allard, fu il primo che mettesse in applicazione questo principio. Egli costruì nel 1836 una macchina fissa messa in movimento col mezzo dell'aria continuamente condensata da una tromba premente. Verso la stessa epoca un orologiaro francese, per nome Roussel, costruì un piccolo carro, il quale, essendo fornito di un recipiente che in pochi minuti era ripieno di aria condensatavi da una piccola tromba, mettevasi in movimento dall'aria che sprigionavasi mano a mano dal recipiente. In tutti gli apparecchi in cui l'aria compressa si fa agire come motore, il meccanismo è simile a quello che descriveremo nelle macchine a vapore: l'aria compressa agisce colla sua elasticità sopra uno stantuffo mobile entro un corpo di pompa, ed il suo movimento alternativo in su e in giù vien cambiato in un movimento rotatorio. L'Andraud ha pubblicato non sono molti anni un'opera per dimostrare i grandi vantaggi che si ritrarrebbero dall'applicazione in grande dell'aria compressa come forza motrice. Egli fa considerare, che se l'aria non si offre in natura a quello stato di tensione che occorre, ha però il grandissimo vantaggio di poter conservare indefinitamente la forza comunicatale per mezzo della compressione, e che inoltre questa forza le si può comunicare senza grande dispendio, presentando la natura ovunque delle forze, le quali non costano che la cura di raccoglierle. Queste forze risiedono nel corso delle acque e nello spirare dei venti; e la corrente di un solo fiume ne può somministrare più che non occorra a muovere tutte le macchine del mondo. Propone adunque l'Andraud di stabilire ovunque occorrano delle ruote idrauliche, di adattare a ciascuna di queste ruote una buona tromba premente atta a comprimere l'aria in un recipiente, e di servirsi poi dell'aria così compressa come motore universale. Un inconveniente assai notevole presenta l'applicazione dell'aria compressa nella diminuzione successiva di forza che le rimane, a misura che

si sprigiona, come ne abbiamo esempio nel fucile pneumatico. Se il passaggio dell'aria compressa dal recipiente al cilindro succedesse direttamente per un'apertura, è evidente che al primo aprirsi della comunicazione, lo stantuffo riceverebbe un urto violento capace di guastare l'apparecchio; è altresì evidente che il movimento farebbesi dopo pochi momenti più lento, diminuendo la forza motrice colla depressione dell'aria. L'artifizio più semplice impiegato a togliere questo inconveniente, consiste in un robinetto che si apre pochissimo in principio, e di cui si va successivamente ampliando l'apertura, a misura che la pressione dell'aria diminuisce. I recipienti destinati a raccogliere l'aria condensata dall'azione delle trombe prementi poste in movimento dal corso dei fiumi, dall'urto dei venti ec., devono esser costruiti colla maggior solidità possibile. In recipienti le cui pareti non hanno più di una linea di grossezza, l'aria può esser compressa a 40 atmosfere: raddoppiando lo spessore, la compressione può giungere a 60 atmosfere. Un eccesso di compressione può compromettere l'apparecchio, ma non le persone che lo avvicinano, giacchè il vaso si fende, e l'aria ne sorte con acuto fischio, ma non accade esplosione. La forma più conveniente sembra la cilindrica. A questi serbatoj devono potersi unire a volontà, col mezzo di tubi muniti di robinetti, i recipienti vuoti nei quali si vuol raccogliere la forza per trasportarla altrove e servirsene. Supponiamo di avere uno di questi recipienti suscettibile di essere applicato ad una locomotiva destinata a percorrere un tratto di strada, ed ammettiamo che la sua capacità sia 500 volte quella del cilindro in cui deve funzionare lo stantuffo; ammettiamo inoltre che l'aria vi sia condensata a 60 atmosfere e che si voglia limitare l'azione dello stantuffo a tre atmosfere soltanto, col mezzo di un regolatore. Il recipiente caricato a 60 atmosfere e della capacità di 500 cilindri, equivarrebbe in capacità ed effetto ad un recipiente caricato a tre atmosfere soltanto, ma del volume di 10,000 cilindri ($10{,}000. = \frac{500 \times 60}{3}$). Regolando adunque l'efflusso dell'aria in modo che la tensione sia costantemente di tre atmosfere, il recipiente potrebbe servire per riempire e vuotare successi-

vamente 10,000 volte il cilindro, e per conseguenza ad ottenere 5,000 corse dello stantuffo, o ciò che è lo stesso 5,000 rivoluzioni delle ruote motrici. Se la ruota avesse 4 metri di circonferenza, la locomotiva percorrerebbe 20,000 metri, o cinque leghe. Questi dati ipotetici sono stati quasi intieramente confermati dall'esperienza.

L'Andraud ha proposto molte altre applicazioni al suo sistema di forza motrice per mezzo d'aria compressa. Fra queste merita special menzione quella della costruzione di cannoni ad aria compressa. Caricando questi cannoni a 80 o 100 atmosfere, ogni projettile potrebbe essere slanciato da una pressione corrispondente a 10 atmosfere, e quindi ogni cannone potrebbe tirare 8 a 10 colpi senza essere ricaricato. Un serbatojo comunicante con tutti i pezzi di una batteria in difesa di una piazza, potrebbe servire a caricare nuovamente ed in un momento tutti i pezzi scaricati. In caso di assedio, la guarnigione potrebbe essere impiegata a mantenere forniti d'aria compressa i serbatoj.

2.° Del Calorico.

Quando trattammo del differente stato della materia parlammo del calorico, e si disse che era considerato dalla maggior parte dei fisici come un fluido dotato di una grandissima forza espansiva e di un'affinità più o meno grande per tutti i corpi, per cui questi ne erano penetrati, e che lottando in essi coll'attrazione molecolare produceva, secondo la diversa sua intensità, le variazioni di densità e di stato cui vanno soggetti.

Senza stare a considerarlo siccome un fluido, lo riguarderemo semplicemente come una forza o agente, il cui effetto è contrario a quello dell'attrazione molecolare, producendo esso realmente l'allontanamento delle molecole dei corpi fra loro, e quindi l'aumento di volume di questi, e il loro pas-

saggio dallo stato solido al liquido ed all'aeriforme. Questo stesso agente è quello che produce sulle nostre membra le sensazioni di caldo e di freddo, ed in tal caso si distingue ordinariamente col nome di *calore*; ma sarebbe vana cosa tenersi a queste distinzioni di nome e non usare indifferentemente le denominazioni di calorico e di calore.

Noi divideremo il trattato del calore in cinque parti. La prima parte avrà per oggetto il cambiamento di volume, o la *dilatazione*, che il calorico produce nei corpi; la seconda il *cambiamento di stato*, ossia il passaggio dallo stato solido al liquido, e dallo stato liquido allo stato di vapore; la terza avrà per oggetto la propagazione del calore, che comprende la *conducibilità*, ossia la propagazione per contatto, e l'*irraggiamento* o la propagazione a distanza; la quarta, la *calorimetria* o la misura delle quantità di calorico che sono necessarie a produrre effetti determinati; ed infine la quinta, le *sorgenti del calorico*.

1.° *Della dilatazione*.

La dilatazione dei corpi solidi pel calore si manifesta in un modo così evidente in un numero grandissimo di circostanze, che non sarebbe necessario di citare gli esperimenti che dimostrano questo fatto. Nei corsi di fisica si suol mostrare che una palla di rame riscaldata colla fiamma di una lampada o fra i carboni accesi non passa più per un anello da cui passava prima di esser riscaldata. La dilatazione dei liquidi si mostra immergendo nell'acqua calda un tubo di vetro terminato in un recipiente sferico pure di vetro e contenente un liquido colorato: tosto vedesi la colonna liquida ascendere nel tubo. Che i corpi gassosi si dilatino anch'essi pel calore, si dimostra per mezzo di un recipiente simile al precedente, ma la cui sfera contiene solo dell'aria, ed in cui la colonna liquida non ascende che fino ad un certo tratto del tubo. (*Tav.* VI, *Fig.* 167). In questo caso riscaldando l'aria della palla si vede abbassare la colonna liquida. A misura che i corpi si raffreddano diminuiscono di volume o si contraggono. La sfera di rame sopra citata, raffreddata che è, ripassa dall'anello che non poteva traversare dopo il riscaldamento.

Gli esempj ricordati bastano a dimostrare che i volumi di tutti i corpi, solidi, liquidi o gassosi, dipendono dai gradi di calore ai quali sono esposti, e che perciò i gradi di dilatazione possono servire a misurare i gradi di calore.

La *temperatura* di un corpo altro non è che il suo grado di calore sensibile. Quando si scalda un corpo, si dice che la sua temperatura aumenta; che si abbassa quando si raffredda; e che diversi corpi hanno la stessa temperatura, quando pel loro contatto il loro grado di calore non cangia.

Le temperature che dapprima non furono valutate se non in modo vago ed incerto per mezzo delle nostre membra, possono essere misurate in un modo sicuro ed esatto cogli effetti della dilatazione.

Gli apparecchi che servono a misurare le temperature chiamansi in generale *termometri*; nullameno si dà il nome di *pirometri* a quelli che servono a misurare le temperature altissime.

Il termometro più comune, quello che dobbiamo far conoscere pel primo, è il *termometro a mercurio*, rappresentato nella *Fig.* 168 della *Tav.* VI. La palla o bolla *b* è piena di mercurio, e questo liquido s'inalza nel tubo *t* fino ad una certa altezza *h*, la quale dipende dalla temperatura. Quando si scalda la palla, il mercurio aumenta di volume; il termometro sale, e si dice che la temperatura *s'inalza*; quando si raffredda, il mercurio diminuisce di volume, il termometro discende, e la temperatura *s'abbassa*. Tutte le volte che il termometro ritorna allo stesso punto, ossia allo stesso stato di volume, la temperatura è la stessa. Se si prendesse un altro termometro a mercurio più grande o più piccolo del primo, questi due istrumenti salirebbero e discenderebbero insieme; ma le ascensioni e le depressioni potrebbero essere differentissime: i serbatoj essendo eguali, basterebbe, per esempio, che il tubo del primo avesse un diametro dieci volte più piccolo del tubo del secondo, perchè i suoi movimenti avessero una estensione cento volte più grande; quando esso salisse di 100 millimetri, il secondo salirebbe di un sol millimetro. L'uno sarebbe cento volte più sensibile dell'altro. Questi termometri non potrebbero servire che a indicare delle tempe-

rature *eguali*, delle temperature *più alte* e delle temperature più *basse*, secondo che la sommità della colonna ritornasse ad uno stesso punto fisso, o che variasse al di sopra o al disotto di questo punto. In questa guisa i termometri potrebbero già recare qualche vantaggio alla scienza; ma ciò che vi ha di essenziale nei termometri si è la loro graduazione, giacchè non è che col graduarli che si può giungere ad esprimere le temperature con dei numeri, a paragonarle fra loro, e a dedurre le leggi del calorico.

I principj della graduazione del termometro fondansi sul fatto seguente, cioè che v'ha dei fenomeni che produconsi costantemente alla stessa temperatura: tali sono per esempio i cambiamenti di stato dei corpi. Uno stesso corpo si fonde sempre esattamente alla stessa temperatura; così nel ghiaccio che si fonde, un termometro ritorna costantemente allo stesso punto; e ciò, tanto che il ghiaccio sia prodotto artificialmente o che si sia formato naturalmente in cima alle montagne, nei fiumi o nel mare. Lo stesso si è osservato pel punto di ebullizione: così nell'acqua pura che bolle sotto la pressione normale dell'atmosfera, un termometro rimane sempre allo stesso punto, sia che bolla adagio oppure vivamente: aumentando il calore si giunge a farla bollire più presto, ma non ad aumentarne la temperatura. Lo stesso deve dirsi di ogni altro liquido. Ciascuno di essi ha un punto fisso di ebullizione. Immaginiamo adesso che sul tubo del termometro si sieno segnati due punti fissi, quello cioè a cui giunge il mercurio nel ghiaccio in fusione, e quello a cui giunge nell'acqua in ebullizione. Se si dividerà in cento parti eguali l'intervallo che separa questi due punti, e si continueranno le divisioni al di sopra e al di sotto dei punti estremi, si avrà un termometro graduato, che dicesi *termometro centigrado* o *centesimale*. La scala centigrada del termometro è dovuta a Celsio, fisico svedese, morto nel 1744.

Il zero, o il principio della scala, si pone al punto del ghiaccio in fusione, e le divisioni che sono al di sotto del zero si distinguono col segno meno. Così — 10°, — 20° significano dieci gradi, venti gradi al di sotto della temperatura del ghiaccio in fusione. Poichè le diverse acque che incontransi

alla superficie della terra tengono disciolte varie materie estranee che possono alterarne il punto di ebullizione, i fisici hanno preferito di fissare il grado 100° del termometro al punto in cui si stabilisce la colonna termometrica nel vapore dell'acqua in ebullizione, conciossiachè la temperatura del medesimo è costantemente la stessa, qualunque sia la quantità dei sali tenuti disciolti dalle acque.

La costruzione del termometro a mercurio esige molte cure, che non possono trascurarsi volendo dare a questo istrumento tutto il grado di sensibilità e di esattezza che si richiede per la misura delle temperature. Le operazioni alle quali riducesi la costruzione del termometro a mercurio sono le seguenti, cioè, la preparazione del tubo, l'introduzione del liquido, l'otturazione del termometro, e la sua graduazione.

I tubi del termometro devono avere un diametro interno che sia da per tutto lo stesso, affinchè delle lunghezze eguali corrispondano a dei volumi eguali. Per assicurarsi di questa condizione si fa passare nell'interno del tubo che si vuole impiegare una colonna di mercurio di uno a due centimetri di lunghezza; poscia con una leggiera pressione, che si può esercitare con una piccola vescica di gomma-elastica, si fa percorrere successivamente a questa colonna tutta l'estensione del tubo in presenza di una scala divisa. Se in ogni posizione essa occupa la stessa lunghezza si è sicuri che il tubo è cilindrico, e per impiegarlo alla costruzione del termometro non resta che a soffiarvi una palla o a saldarvi un recipiente cilindrico. Se invece essa occupa delle lunghezze ineguali, è necessario di calibrare il tubo, cioè a dire di segnare per tutta la sua lunghezza gl'intervalli più o meno grandi che corrispondono al volume costante della colonna o a delle capacità eguali.

Per introdurre il mercurio, si scalda il recipiente onde dilatarne l'aria, e quindi s'immerge rapidamente l'estremità del tubo in un bagno di mercurio. Il raffreddamento che ha luogo diminuisce l'elasticità dell'aria interna; e la pressione atmosferica costringe il liquido a salire sempre più, e basta che ne giungano solo poche gocce nel recipiente. Allora rovesciando l'apparecchio si riscalda di nuovo fino alla ebulli-

zione del liquido; i vapori del mercurio ne riempiono bentosto tutta la capacità; l'aria è completamente scacciata, e questa volta immergendo con molta rapidità l'estremità del tubo nel bagno di mercurio, si è quasi sicuri che si riempia intieramente. Prima di chiudere il termometro si fa sortire o rientrare del mercurio, fino a che la sommità della colonna corrisponda presso a poco all'altezza che si vuole scegliere per la temperatura media; poscia si chiude alla lampada l'estremità del tubo. Questa operazione può farsi in due modi: o facendo il vuoto al di sopra della colonna termometrica, o lasciandovi dell'aria. Nel primo caso si comincia dall'affilare l'estremità del tubo, e dopo ciò si scalda la bolla su dei carboni fino al punto di fare uscire una piccola goccia di liquido. In quello stesso momento si dirige il dardo del cannello sull'estremità del becco affilato del tubo, il vetro si fonde ed il tubo è chiuso; non riman più che a rotondarlo, presentandolo al dardo della lampada dopo che la colonna si è ritirata col raffreddamento. Nel secondo caso il termometro essendo alla temperatura ambiente, cioè a dire alla temperatura dell'aria circondante, si presenta l'estremità del tubo al dardo della lampada, e si chiude ermeticamente; poscia si mantiene rossa e presso a poco allo stato pastoso durante alcuni istanti; e allora scaldando rapidamente il recipiente, sia colla mano, sia con una lampada, la colonna sale, l'aria è spinta in avanti, e per la pressione che esercita alla sommità del tubo sul vetro fuso, formasi una specie di bolla più o meno grande, secondo che l'aria è spinta con più o meno forza. Questo serbatojo superiore è quasi sempre necessario quando si lascia dell'aria nell'apparecchio.

La graduazione del termometro consiste nel segnare i due punti fissi, e nel dividere in parti eguali l'intervallo che li separa. Per segnare il punto del ghiaccio in fusione, s'immerge in un vaso pieno di ghiaccio pestato o di neve il recipiente del termometro e tutta la parte dell'asta nella quale trovasi del liquido. La temperatura ambiente essendo più alta di 0^o, il ghiaccio si fonde a poco a poco, e tutta la massa si mantiene alla temperatura fissa del ghiaccio in fusione. Dopo alcuni istanti il termometro che ha preso questa tempera-

tura, rimane perfettamente stazionario, e si segna il punto preciso in cui si trova la sua sommità: si segna prima coll'inchiostro, poscia vi si fa un tratto col diamante. Questo punto è lo zero, o il punto di partenza della scala termometrica. Per segnare il punto dell'ebullizione, si prende un vaso a lungo collo, nel quale si fa bollire dell'acqua stillata; dopo alcuni istanti di ebullizione, il vapore ne ha scaldate egualmente tutte le parti e fugge dalle aperture laterali; allora il termometro è circondato da ogni lato da un bagno di vapore, la cui temperatura è da per tutto la stessa, e da per tutto eguale alla temperatura del primo strato d'acqua bollente. Bentosto la colonna giunge ad un punto fisso che non può oltrepassare, ed è questo il punto di ebullizione, che si segna prima coll'inchiostro e quindi col diamante. Se nel momento dell'esperienza l'altezza del barometro differisse sensibilmente da 760^{mm}, converrebbe fare una correzione, di cui daremo il valore parlando dell'ebullizione.

Per eseguire la scala termometrica, quando il tubo è stato riconosciuto esattamente cilindrico, basta dividere in 100 parti eguali lo spazio compreso fra i due punti fissi del ghiaccio in fusione, e dell'acqua in ebullizione, e segnare ogni tratto col diamante. Ogni spazio compreso fra tratto e tratto è un grado del centigrado. Quando il tubo non è stato riconosciuto cilindrico, è stato calibrato, cioè a dire diviso in parti di eguale capacità. In questo caso ecco il modo col quale si eseguisce la graduazione. Ognuno degl'intervalli di egual capacità determinati sul tubo si divide in un certo numero di parti più piccole, le quali possono ritenersi eguali, essendo supponibile che il tubo conservi lo stesso diametro in ognuna di esse. Si conta il numero di questi spazi compresi fra i due punti fissi di congelazione e di ebullizione, e chiamando n questo numero, ogni grado del termometro dovrà contenere $\frac{n}{100}$ di queste divisioni.

Tutti i termometri a mercurio costruiti con questi principj sono degl'istrumenti paragonabili, cioè a dire che vanno d'accordo e indicano nello stesso tempo lo stesso numero di gradi. Infatti due volumi di uno stesso corpo presi a zero, se

portansi ad un'altra temperatura, in modo che uno di essi si dilati, per esempio della millesima parte del suo volume a 0°, l'altro si dilaterà pure della millesima parte del suo volume a 0°; quindi due termometri a mercurio devono indicare nello stesso tempo 1.°, 2.°, 3.° ec. perchè devono acquistare nello stesso tempo il centesimo, i due centesimi, i tre centesimi ec. dell'accrescimento di volume che sono suscettibili di prendere passando da 0° a 100°. Nulladimeno questo ragionamento non è vero, se non che supponendo il mercurio contenuto in vasi o in invogli solidi della stessa natura, giacchè nei termometri non è *la dilatazione assoluta* del mercurio che si osserva, ma la sua *dilatazione apparente*, cioè a dire la differenza che esiste fra l'accrescimento di volume del mercurio e l'accrescimento di capacità dell'invoglio che lo contiene. Se il vetro si dilatasse quanto il mercurio, il termometro rimarrebbe stazionario a qualunque temperatura; e se la custodia di vetro si dilatasse più del liquido che contiene, gli aumenti di calore farebbero abbassare il termometro invece di farlo salire. Affinchè i termometri sieno rigorosamente paragonabili, bisogna che i loro invogli sieno egualmente dilatabili.

Si possono costruire dei termometri a mercurio che segnino perfino 350 gradi, ma è impossibile di far loro segnare una maggior temperatura, essendo quella indicata vicinissima al punto di ebullizione del mercurio. Al di sotto di 0° il termometro a mercurio non dà delle indicazioni esatte che fino a - 30° o a - 35°, giacchè allora si avvicina al suo punto di congelazione che è verso 40°, e presso al loro cambiamento di stato tutti i corpi provano delle brusche variazioni nelle loro dilatazioni.

Bellani ha osservato che in generale lo zero dei termometri si sposta col tempo, come se il recipiente divenisse più piccolo, e s' inalza talvolta perfino due gradi al di sopra della sua posizione primitiva. Sembra che questa variazione di capacità nel bulbo del termometro dipenda dal riprendere che fa col tempo il vetro riscaldato il suo volume primitivo. Legrand ha osservato che se il bulbo del termometro è di cristallo invece che di vetro, la variazione di capacità è estremamente piccola. Si può d'altronde ovviare a questo inconve-

niente graduando dei termometri nei quali la palla è stata soffiata da qualche anno, e in cui il mercurio è stato introdotto da molto tempo. Volendo fare delle esatte osservazioni termometriche, converrà prima verificare se lo zero del termometro ha subito l'accennato spostamento, tenendolo per qualche tempo immerso nel ghiaccio; e quando ciò sia avvenuto sarà necessario rettificare la scala.

Affinchè il termometro riesca molto sensibile ed atto a indicare le rapide variazioni di temperatura, è necessario che abbia il bulbo assai piccolo ed il tubo sottilissimo. In questo caso la massa del liquido, essendo piccola, fa d'uopo poco tempo affinchè si metta in equilibrio di temperatura col corpo che tocca.

Si costruiscono dei termometri anche coll'alcool colorato, ma nella costruzione di questi termometri si ha cura di lasciare una certa quantità di aria nell'interno del tubo, affinchè questa, comprimendosi per la dilatazione dell'alcool riscaldato, si opponga alla troppo sollecita ebullizione del liquido. Anche il vapor d'alcool che si forma col riscaldamento del termometro contribuisce a produrre questo effetto. La dilatazione dell'alcool non seguendo la stessa legge di quella del mercurio, i termometri ad alcool graduati sugli stessi principj di quelli a mercurio, hanno un andamento assai diverso da questi; e non sono perciò *comparabili* coi medesimi. Così mentre un termometro a mercurio indicherà 25°, quello ad alcool segnerà 20° nelle stesse circostanze. Il termometro ad alcool, attesa la proprietà di questo liquido di non congelarsi anco alle più basse temperature, s'impiega generalmente per misurare delle temperature bassissime per le quali quello a mercurio non potrebbe servire, e si gradua ordinariamente su quello a mercurio.

Oltre il termometro centigrado sono anche assai in uso il termometro di Reaumur, e quello di Farhenheit che è esclusivamente adottato in Inghilterra. Questi due termometri sono graduati in un modo diverso del centigrado. Il termometro di Reaumur segna 0° nel ghiaccio e 80° all'ebullizione dell'acqua. Quello di Farhenheit segna 32° nel ghiaccio e 212° all'ebullizione. È facile ridurre le temperature espresse in gradi del termometro centigrado in quelle dei termometri di Reaumur e

di Farhenheit e reciprocamente. Infatti lo stesso intervallo è espresso da 100 divisioni in un caso, da 80 nell'altro e da 180 nell'ultimo; dal che si deduce che per esprimere un numero di gradi Reaumuriani in centigradi bisognerà moltiplicare i gradi Reaumuriani per $\frac{5}{4}$; e reciprocamente per esprimere un numero di gradi centigradi in Reaumuriani bisognerà moltiplicarli per $\frac{4}{5}$; parimente essendo data una temperatura in gradi di Farhenheit, basta sottrarre 32 e moltiplicare il resto per $\frac{5}{9}$ per trasformarla in temperatura centigrada.

Si sono immaginati dei termometri nei quali l' indicazione rimane fissa. Questi termometri diconsi a *massimi* e a *minimi* od anche *termometrografi*, e servono a indicare le più alte e le più basse temperature, senza che sia necessaria la presenza dell'osservatore. I più semplici termometrografi sono quelli di Ruteford e di Bellani. Il primo non è riunito in un solo apparecchio, come è il secondo, ma consiste invece in due termometri separati, uno dei quali è a massimi e l'altro a minimi. Quello a *massimi* consiste in un termometro a mercurio con tubo orizzontale fornito di un indice mobile di fil di ferro posto all'estremità della colonna del liquido. Quando il mercurio si dilata l' indice è spinto innanzi, ma quando invece per lo abbassamento di temperatura il liquido si ritira, per la poca aderenza che ha il ferro pel mercurio rimane ove fu spinto, e il punto della scala ove giunse indica il maggior grado di calore, ossia la massima temperatura che risenti l' istrumento. Quello a *minimi* è invece un termometro ad alcool, pure orizzontale, con un indice o cilindretto di smalto più sottile del tubo che si colloca sulla superficie del liquido. Quando l'alcool per l' inalzamento della temperatura si dilata lascia l' indice al suo posto, mentre, per l'aderenza che ha per esso, lo trae seco quando pel raffreddamento si ritira, e così viene questo cilindretto a indicare la minima temperatura a cui fu esposto l'apparecchio. Se dunque si voglia conoscere la massima e la minima temperatura in 24 ore, si metterà l'estremità inferiore dell' indice di fil di ferro in contatto del mercurio, e si farà coincidere l'estremità superiore dell' indice di smalto colla estremità della colonna ad alcool. Ciò si ottiene facilmente inclinando un poco l'apparecchio. Il

giorno dopo la posizione dei due indici darà la massima e la minima temperatura.

Il termometrografo di Bellani si compone di un recipiente *R* (*Tav.* VI, *Fig.* 169) cilindrico, di vetro, contenente dell'alcool, e comunicante con un tubo ricurvo a doppia curvatura, che termina in un piccolo recipiente *r*. Il recipiente *R* ed una parte del tubo fino in *T* sono pieni di alcool; una colonna di mercurio occupa la porzione di tubo compresa fra *T* e *T'*, e la porzione *T' m* del tubo contiene parimente dell'alcool. A ciascuna estremità della colonna di mercurio trovasi un piccolo indice di ferro, unito ad un piccolo anello fatto con un sol crino, il quale nel moversi sfrega le pareti del tubo. Questo anello, per la sua elasticità è capace di sostenere l'indice di ferro in mezzo all'alcool all'altezza a cui è stato spinto dalla colonna di mercurio, ma non gl'impedisce di progredire, quando è spinto innanzi dalla colonna medesima. Per disporre l'apparecchio per l'esperienza, si fanno prima discendere gl'indici sul mercurio per mezzo di una calamita. Se la temperatura si abbassa, la colonna di mercurio sale dal lato del serbatojo *R*, e l'indice *T*, spinto dal mercurio, s'innalza, e resta al punto più alto a cui è giunto il mercurio. Se invece la temperatura s'innalza, la colonna di mercurio sale nel tubo opposto; l'indice *T'* vien sollevato a sua volta, e rimane là dove la colonna di mercurio si arresta. Vedesi adunque, che il primo dei due indici è destinato a misurare le temperature minime, ed il secondo le massime. La graduazione del termometrografo dev'essere accuratamente verificata per mezzo di un termometro campione.

Termometro a massimo ed a minimo di Walferdin. Il termometro a massimo ed a minimo di Walferdin è il più atto, fra i termometri di questa specie, a far conoscere la temperatura dei luoghi inaccessibili agli osservatori, come sarebbero il fondo di un pozzo o di una caverna, la profondità del mare, di un lago ec. Gli altri termometri a massimo ed a minimo, quando vengono discesi, chiusi entro astucci metallici, vanno ordinariamente soggetti a scuotimenti che possono spostare gl'indici e produrre dei considerevoli errori. Quello di Walferdin non va soggetto a questo inconveniente. Esso consiste in un (*Tav.* VI, *Fig.* 170)

termometro a mercurio avente all'estremità superiore del cannello un serbatojo *a* o ricettacolo di versamento, nel quale il cannello finisce con una piccola apertura sporgente *b*. Supponiamo che si voglia misurare la temperatura di un'acqua termale posta ad una certa profondità, la quale si sappia essere superiore a 20°. Allora si pone il termometro in un bagno la cui temperatura, misurata con buon termometro modello, sia di 20°; il mercurio dilatandosi uscirà per la punta *b*, e si verserà nel serbatojo *a*, e quando l'equilibrio di temperatura sarà avvenuto, resterà pieno di mercurio tutto il cannello con una goccia all'estremo della punta, che si fa cadere dando una piccola scossa all'istrumento. Ora, immaginiamo che il medesimo discenda nell'acqua termale supposta; fintantochè l'ambiente avrà temperature minori di 20°, il mercurio discenderà, ma non appena la temperatura diverrà più elevata nuovo mercurio si verserà nel serbatojo. Si aspetta dunque per un certo tempo, affinchè s'abbia l'equilibrio, quindi si scuote se si può, l'istrumento, e si fa risalire. Riportandolo nel bagno a 20°, misurati al solito dal termometro modello, supponiamo che il mercurio si fermi a 10° della scala del termometro a massimo; è chiaro che la temperatura dell'acqua era di 20° + 10°.

Si potrebbe anche non tener conto della scala del termometro a massimo, misurando tutto con quella del termometro modello, perocchè tirato quello fuori dell'acqua e riportato in un bagno che si riscaldi gradatamente, finchè il cannello si empia di mercurio, è chiaro che la temperatura attuale del bagno dev'essere eguale a quella dell'acqua in cui lo strumento fu poco prima introdotto. Inclinando convenientemente l'apparecchio dopo averne completamente riempito il cannello per mezzo del riscaldamento, si fa rientrare il mercurio travasato.

Il termometro a minimo dello stesso fisico (*Tav.* VI, *Fig.* 171) è anch'esso un termometro a mercurio, ma è fornito alla sua estremità inferiore di un serbatojo contenente del mercurio e dell'alcool, nel quale s'immerge la punta che termina il tubo; ed alla sua estremità superiore porta un altro serbatojo pieno di alcool. Se, per esempio, si vuole osservare la tem-

peratura che presenta il mare ad una grande profondità, la quale si supponga dovere essere di circa 6°, si comincia dal raffreddare l'apparecchio a 0°, ovvero a diversi gradi sotto 6°; allora s' inclina l'apparecchio affinchè il mercurio tocchi la punta del tubo (*Tav.* VI, *Fig.* 172), e si scalda un poco onde la dilatazione costringa il mercurio a salire nel tubo; vi si fa così entrare una colonna della lunghezza di 10° a 15°; ciò fatto si raddirizza l' istrumento, s'immerge in un bagno di temperatura nota e superiore a 6°, per esempio a 12°, quindi si nota la divisione corrispondente alla sommità della colonna di mercurio; allora l'apparecchio è preparato per l'osservazione, e si fa discendere nel mare. Se i primi strati sono caldi la colonna del mercurio è sollevata, e può anche entrare nel serbatojo superiore; ma quando si giunge agli strati freddi, il mercurio ridiscende fino alla punta inferiore, e ricade in parte nel serbatojo fino a che l' equilibrio non si è stabilito. Quando si fa risalire, la dilatazione solleva la colonna di mercurio residua e basta allora leggere sul tubo qual numero di gradi rappresenta; questo numero tolto da 12 darà la temperatura cercata.

Per determinare le temperature molto alte, come sarebbero quelle alle quali operansi le fusioni dei metalli, non si può ricorrere ai termometri. Si fa allora uso di certi particolari istrumenti distinti col nome di *Pirometri*. Il *Pirometro di Wedgwood* è quello più comunemente adoprato nelle arti. Si fonda quest' istrumento sulla diminuzione di volume che subisce l'argilla perdendo col calore l'acqua che contiene; questa diminuzione cresce colla temperatura, ma secondo una legge non ben conosciuta. Si compone di una lastra di rame *ABCD* (*Tav.* VI, *Fig.* 173) sulla quale sono fissate tre sbarre dello stesso metallo, inclinate fra loro in modo che l' intervallo compreso fra le sbarre *N* e *P* sia eguale a quello che formerebbe il prolungamento delle sbarre *M* ed *N*. in una è segnata una scala di 240 gradi. Dei piccoli coni troncati di argilla e cotti al calor rosso nascente, posti fra le sbarre, s' introducono fino ad un certo tratto segnato con zero. Quando si vuol conoscere la temperatura di un forno vi s' introduce uno dei piccoli coni di argilla, ponendolo in un crogiuolo chiuso; si estrae

dopo che ha preso la temperatura del forno, si lascia raffreddare e si pone tra le sbarre, facendolo avanzare fino al punto il più alto a cui può giungere: il grado della scala al quale giunge indica la temperatura. Affinchè le indicazioni di uno stesso istrumento sieno paragonabili, bisogna che i coni di prova sieno sempre costruiti colla stessa sostanza; ed anche in questo caso l' istrumento non può indicare dei rapporti di temperatura, giacchè non si sa, se la diminuzione di volume sia proporzionale alla temperatura. Secondo Wedgwood lo zero di questo Pirometro corrisponde a 500,° 5 centigradi, ed approssimativamente ogni suo grado corrisponde a 72°, 2 dello stesso termometro. Ecco i resultati ottenuti per mezzo di questo apparecchio sulla temperatura richiesta per la fusione dei tre seguenti metalli.

L'argento fondesi a 28 Wedgwood, ossia a 2516° del termometro centigrado.

L'oro	a	32°	»	4804°
Il ferro	a	150°	»	11300°

Dopo quanto abbiamo sopra esposto è inutile avvertire che queste valutazioni in gradi centigradi, devono esser considerate erronee.

Un altro Pirometro assai semplice consiste in una tavoletta *AB* d'argilla cotta (*Tav.* VI, *Fig.* 174), la più refrattaria, in cui è praticata una scanalatura, nella quale si pone una verga metallica *ab*, fissa alla sua estremità *a*, mentre l'altra estremità *b* si appoggia sul braccio minore *om* della leva *mon*, il cui braccio maggiore *on* serve d' indice, scorrendo sopra l' arco graduato *cd*. La verga metallica esposta al calore si dilata, mentre la tavoletta d'argilla non prova alcun cambiamento sensibile nelle sue dimensioni, per cui i moti dell'allungamento della verga metallica si comunicano alla leva, la quale col suo maggior braccio segna sull'arco i gradi del calore medesimo. Pei primi 200 e 300 gradi si stabilisce la scala col confronto d'un termometro a mercurio, e si prolunga sull'arco con gradi di egual dimensione, nella supposizione che la verga metallica si dilati uniformemente anche a temperature più elevate. La tavoletta d'argilla, nella quale è contenuta la verga metallica, vien posta nel forno

di cui si vuol misurare la temperatura; l'ago ed il quadrante sono situati all'esterno. Dalle indicazioni di questi Pirometri si può concludere, allorchè sono eguali, che la temperatura è la stessa, ed è questo che basta ordinariamente nelle arti.

Per le piccole variazioni di temperatura si ricorre a diversi termometri fondati sopra la dilatazione dell'aria e distinti col nome di *termoscopi*. Il più semplice consiste in un tubo di vetro che ha una grossa palla alla sua estremità superiore e che posa col suo orifizio in un liquido colorato che è alquanto sollevato nel suo interno (*Tav.* VI, *Fig.* 167). Questo istrumento sensibilissimo non può fornire resultati esatti e paragonabili senza fare delle correzioni che impareremo a determinare parlando della dilatazione dei gas. È chiaro che le variazioni della pressione barometrica producono degl' inalzamenti e degli abbassamenti nella colonna di questo termometro, indipendentemente dalla temperatura.

Il *Termoscopio di Leslie* o *Termometro differenziale* dà delle indicazioni più esatte del precedente. Consiste in un tubo *ABCD* (*Tav.* VI, *Fig.* 175), di cui le estremità sono terminate da due palle *M* ed *N* piene di aria. Le braccia *AB* e *CD* sono molto lunghe, e l'indice è una colonna liquida di acido solforico colorato col carminio; quest' indice si solleva nei due bracci verticali. È chiaro che i movimenti di questa colonna sono indipendenti dalla pressione atmosferica, e non dipendono che dall'eccesso di temperatura che ha l'aria di una delle bolle sopra quella dell'altra. Se la temperatura è la stessa non v' ha alcun sollevamento nell' indice; ma se una delle bolle è più riscaldata dell'altra, l' indice, si muoverà andando sempre verso quella delle due palle la cui temperatura è più bassa. Questo genere di Termoscopio indica così la differenza di temperatura dell'aria delle due palle, ed è perciò che dicesi differenziale. Per graduare questo istrumento basta di riscaldare l'aria di una delle palle dieci gradi al disopra di quella dell'altra. Lo zero della scala essendo dato dal livello della colonna quando le due palle sono alla stessa temperatura, si divide lo spazio percorso dall' indice in 100 parti eguali che sono i gradi di questo istrumento. Il *Termoscopio di Rumford* non differisce dal precedente se non per

avere il tubo orizzontale *BC* molto lungo, l' indice corto; e la graduazione, fatta intieramente sopra questa porzione orizzontale, ha il suo zero nel mezzo del tubo, ove va a fissarsi l' indice quando le due bolle trovansi alla stessa temperatura.

Cenni storici intorno all' invenzione del Termometro. L' invenzione degli apparecchi termometrici devesi a Galileo; ma il termometro da lui immaginato era ben lungi dalla perfezione degli attuali. Il corpo termoscopico del medesimo era l'aria; e l'apparecchio non differiva da quello rappresentato nella Figura 167, e non aveva scala: perciò era piuttosto un *termoscopio*, cioè a dire un indicatore delle subitanee variazioni di temperatura, che un vero termometro. Circa mezzo secolo dopo, l'Accademia fiorentina del Cimento modificò l' istrumento del Galileo, adottando l'alcool come corpo termoscopico, e dando all'apparecchio l'esatta disposizione dei termometri attuali, meno la scala fondata su qualche temperatura fissa. I termometri dell'Accademia del Cimento erano in vero graduati, ma privi di punti fissi; e se riuscivano comparabili fra loro ciò dipendeva dall'abilità dell'artefice che destramente regolava la quantità dell'alcool colla capacità del bulbo e del vano del tubo. Concepivano però chiaramente quei fisici che i loro termometri non potevano riuscir comparabili quando fossero costruiti da persone diverse e con regole differenti, e perciò cercarono per qualche tempo la soluzione di quel problema, ma sempre invano. Nei primi anni del secolo scorso Carlo Renaldini, professore di fisica a Padova, costruì i primi termometri comparabili, servendosi del mercurio per corpo termoscopico. Egli segnava lo zero al punto in cui giungeva questo liquido nel ghiaccio; il dodicesimo grado là dove giungeva, nell'acqua bollente, dividendo l' intervallo in 12 parti eguali. L' invenzione del Renaldini non era per anco abbastanza diffusa, quando nel 1724, Farhenheit costruì il termometro che porta anch'oggi il suo nome. Poco appresso s' immaginarono le altre scale, già da noi descritte.

Misura della dilatazione dei corpi solidi. Abbiamo visto la dilatazione prodotta dal calore essere una proprietà generale dei corpi, e fondarsi sulla medesima l' impiego dei termo-

metri. Esaminiamo adesso i mezzi adoprati per misurare le dilatazioni dei differenti corpi. Si opera questa misura determinando il loro *coefficiente di dilatazione*, cioè a dire quella quantità di cui aumenta il loro volume al crescere di un grado la temperatura. Questo coefficiente varia da un corpo all'altro, meno che nei gas, nei quali ha lo stesso, o presso che lo stesso valore per tutti.

Il coefficiente di dilatazione dei corpi solidi suol determinarsi deducendolo dalla loro dilatazione lineare. Questa determinata, siccome i corpi solidi omogenei dilatansi egualmente in tutte le direzioni, basterà triplicarla per avere la dilatazione cubica o in volume. Dicesi *dilatazione lineare* di un corpo il rapporto che esiste fra il suo allungamento e la sua lunghezza a zero, quando la sua temperatura s'innalza da 0° a 1°. Così chiamando l la lunghezza di una sbarra metallica alla temperatura di 0°, chiamando b l'allngamento che subisce passando da 0° ad 1°, ed n la sua dilatazione lineare, si ha il rapporto:

$$n = \frac{b}{l} \text{ o } nl = b$$

Il valor numerico di n per ogni sostanza è il coefficiente della dilatazione lineare della medesima.

La *dilatazione cubica* di un corpo è il rapporto che esiste fra il suo aumento di volume ed il suo volume a zero, quando la sua temperatura s' innalza da 0° ad 1°. Designando con v il volume di un corpo alla temperatura di 0°, con a l'aumento di volume che prova nel passare da 0°, ad 1°, e con m il suo coefficiente di dilatazione cubica, si ha il rapporto

$$m = \frac{a}{v} \text{ ossia } a = mv$$

È facile di vedere che per ogni corpo la dilatazione cubica è il triplo della dilatazione lineare. Infatti i corpi si dilatano egualmente in tutte le dimensioni. Se si rappresenta con b la lunghezza dello spigolo di un cubo alla temperatura di 0°, e con n la dilatazione lineare della sua sostanza, ogni spigòlo diverrà $l + ln$ ovvero $l\ (1 + n)$ alla temperatura di 1°; ed il volume dilatato del cubo sarà $l^3\ (1 + n)^3$ ossia $l^3\ (1 + 3\ n + 3n^2 + n^3)$ ovvero $l^3\ (1 + 3n)$, perchè si possono omettere i termini in cui n è a quadrato ed a cubo;

l'accrescimento del volume sarà dunque $l^3 \times 3n$ e l'accrescimento del volume diviso pel volume a 0°, ossia la dilatazione cubica m sarà:

$$m = \frac{l^3 \times 3n}{l^3} = 3n$$

Posto ciò, per trovare il coefficiente di dilatazione lineare di un solido, basterà determinarne la sua lunghezza a 0°, quindi riscaldarlo fino ad una certa temperatura t, e determinarne l'acquistata lunghezza, che chiameremo l'. È chiaro che l'allungamento subito dal corpo è eguale a $l' - l$, talchè rappresentando con m il suo coefficiente di dilatazione, avremo

$$m = \frac{l' - l}{lt}$$

Mercè questa formola, essendoci noto il valore di m per un dato corpo, potremo facilmente determinare la lunghezza l' che acquisterà, portato che sia ad una certa temperatura t. Avremo allora

$$l' = l + lmt$$

Ed essendoci nota la lunghezza l' di un corpo ad una qualunque temperatura t ed il suo coefficiente di dilatazione, potremo facilmente determinare qual sarebbe la sua lunghezza l, a 0°. Si ha infatti

$$l = \frac{l'}{1 + mt}.$$

Lavoisier e Laplace cercarono i primi di determinare la dilatazione lineare dei corpi solidi. Le sbarre sottoposte all'esperienza avevano due metri di lunghezza, ed erano orizzontalmente sospese in una caldaja *A* (*Tav.* VI, *Fig.* 176) posta su di un fornello. Quattro pilastri *b* di pietra, di grandi dimensioni, fortemente basati, servivano come punti di appoggio perfettamente fissi; essi erano riuniti due a due da delle sbarre di ferro *c* e *c'*, *d* e *d'*. A ciascuna delle due prime erano attaccate delle lamine di cristallo forate nelle loro estremità inferiori per dar passaggio e sostenere la sbarra metallica sottoposta all'esperienza. Questa sbarra appoggiavasi con una estremità ad una lastra di cristallo molto grossa *RR'* perfettamente immobile e coll'altra estremità ad una leva mobile *f*, capace di far girare la traversa *d'*, e quindi la leva *g* e il canoc-

chiale *h*. Il bagno della caldaja e la sbarra essendo a zero, ed i contatti bene stabiliti, col canocchiale si prendeva una mira a 200 metri di distanza sopra un regolo *m* verticale e accuratamente diviso; notato questo punto di partenza si scaldava per esempio a 100°; allora la sbarra sottoposta alla prova si allungava più o meno secondo la sua natura; le leve *f* e *g* ed il canocchiale *h* ponevansi in moto, per arrestarsi quando l'effetto della dilatazione per questa temperatura era completamente prodotto. Conoscendo i rapporti dei bracci di leva *f* e *g*, come anche il rapporto delle distanze *ik* ed *im* era facile calcolare l'allungamento della sbarra, dallo spazio conosciuto che era stato percorso sulla mira.

Lavoisier e Laplace, come anche altri fisici, che sperimentarono con processi simili, stabilirono il coefficiente della dilatazione lineare di molte sostanze riscaldate da 0° a 100°. Ecco alcuni di questi coefficienti stabiliti dalle loro esperienze: Rame $\frac{1}{584}$. Ottone $\frac{1}{533}$. Ferro dolce $\frac{1}{819}$. Acciajo non temprato $\frac{1}{926}$.

Il resultato generale delle molte ricerche tentate sopra la dilatazione dei solidi, si è, che questi per le temperature comprese fra 0° e 100° ed anche 150° si dilatano uniformemente o proporzionalmente alla temperatura, valutata in gradi del termometro a mercurio; ma a delle temperature superiori la dilatazione cresce più rapidamente della temperatura; quindi il coefficiente di dilatazione diviene esso pure crescente, ma non v'ha sostanza per la quale se ne conosca il valore al di sopra di 350°.

Nelle costruzioni in cui s'impiegano delle verghe o delle lastre metalliche, gli effetti della loro dilatazione pel calore, e della loro contrazione pel freddo, meritano un'attenta considerazione. Il ferro che è sì di frequente impiegato all'esterno delle costruzioni, può raffreddarsi durante l'inverno, a circa — 20°, ed inalzarsi nell'estate fino a 40°. Questa variazione di 60°, è presso a poco la stessa che se avesse lo 0° per punto di partenza, invece di — 20°. Il coefficiente della dilatazione del ferro essendo 0,0000118, per 60° l'allungamento è 60 volte maggiore, ossia 0,000708. Sopra una lunghezza di 100 metri a 0°, l'allungamento sarà 0^{m},0708, ossia quasi 71 millimetri. Un tal cambiamento di lunghezza, potrebbe storcer le barre, re-

spingere i loro punti di appoggio, guastare il muramento, e fare altri simili danni, se non vi si ovviasse rompendo la continuità delle barre stesse, lasciando così alle diverse parti la libertà di eseguire i loro movimenti di dilatazione e di contrazione. In una strada ferrata di 100 chilometri, se le rotaje fossero continue o in contatto immediato, l'allungamento, dall'inverno all'estate, sarebbe di 70 metri; perciò si ha cura di lasciare ad ogni giuntura uno spazio sufficiente al libero movimento delle verghe.

Applicazioni della dilatabilità dei metalli. Lo sforzo che fanno le lamine metalliche nell'allungarsi per l'inalzamento della temperatura è molto considerevole. Esso è eguale alla forza che converrebbe impiegare per comprimerle di una quantità eguale alla dilatazione. Se noi consideriamo che delle grandissime pressioni non producono sui corpi solidi, e principalmente sui metalli, se non piccolissime variazioni di volume, ci faremo idea di quanto sia considerevole questo sforzo. La forza colla quale i corpi solidi tendono a contrarsi per l'abbassamento della temperatura, è evidentemente eguale allo sforzo che converrebbe fare per allungarli di un'estensione eguale a quella della contrazione. Alcuni ingegneri, ad esempio del Molard, hanno messo a profitto la forza che si genera nel ritiro delle sbarre metalliche, nel raffreddamento, per raddirizzare delle muraglie divergenti. Ecco come si giunge a questo intento. Si fanno traversare le muraglie da grosse sbarre di ferro terminate esternamente da viti. Riscaldando queste sbarre esse escono maggiormente dai muri; e mentre sono così allungate si girano le madreviti in modo da stringerle fortemente contro i muri. Nel raccorciarsi pel raffreddamento le sbarre tirano seco i muri e li ripongono al posto. I cerchi di ferro che si pongono alle colonne e alle ruote, si scaldano prima di applicarli, e si lasciano raffreddare al posto onde ne serrino e stringano le parti. Con questo processo è stata consolidata con un gran cerchio la cupola di S. Pietro di Roma.

Sulla differente dilatabilità dei metalli si fonda un mezzo utile per rendere esatti gli orologi a pendolo. In questi orologi l'asta che sostiene la lente, essendo sottoposta alle variazioni della temperatura dell'atmosfera, cambia ad ogn'istante di lunghezza; e queste variazioni turbano la regolarità dei mo-

vimenti dell'orologio, il quale ritarda se la temperatura aumenta, ed avanza se diminuisce. Per evitare queste irregolarità, che invero sono piccolissime pei nostri giornalieri bisogni, ma molto considerevoli nelle osservazioni astronomiche, basta disporre l'apparecchio in modo che malgrado le variazioni di temperatura, il centro di gravità della lente resti ad una distanza costante dall'asse di rotazione. Per raggiungere questo intento si dà ai pendoli una costruzione particolare, per la quale ricevono il nome di *pendoli compensatori*. I più usati hanno la forma indicata dalla Figura 177. L'asta *FG* che porta la lente è sospesa ad un telajo di rame *feef*, che colla sua parte inferiore riposa sopra un altro telajo di ferro *cddc*; quest'ultimo è fisso alla parte superiore di un altro telajo di rame *abba*, il quale pure riposa sulla traversa inferiore di un gran telajo di ferro *ABCD*. L'estremità inferiore dell'asta può scorrere entro a dei fori praticati sulle traverse orizzontali *cc*, *AD* dei telai. Per questa disposizione accade che tutti i telaj di ferro tendono a far discendere la lente, mentre tutti quelli di rame tendono a farla risalire; e poichè il rame si dilata più del ferro, si possono sempre determinare le lunghezze relative delle verghe di ferro e di rame, in modo che la lente resti costantemente alla stessa distanza dal punto di sospensione.

Un altro pendolo compensatore si fonda sulla curvatura che le variazioni di calore fanno prendere al sistema di due lamine di metalli diversi riunite insieme con viti o con saldature. Quando la temperatura cambia, le dilatazioni o le contrazioni dei due metalli essendo disuguali, la doppia lamina cessa di esser piana, e s'incurva in modo che il metallo più dilatabile possa prendere una lunghezza maggiore o minore dell'altro, occupando così la convessità o la concavità della curva formata (*Tav.* VI, *Fig.* 178). Se delle masse di un metallo molto pesante son fisse all'estremità di questa doppia lastra impiantata perpendicolarmente nell'asta del pendolo, e se il metallo più dilatabile è rivolto in basso, le masse s'inalzeranno quando l'asta si allungherà, e così rimonterà il centro di gravità del pendolo, mentre tenderà a scendere per l'allungamento dell'asta. Accadrebbe il contrario per un abbassamento di temperatura.

Negli orologi il regolatore del movimento è un bilanciere *AB* mosso da una molla a spirale, la quale restringendosi ed allargandosi successivamente costringe il bilanciere a girare alternativamente sopra sè stesso; ma se la temperatura viene a cambiare, le dimensioni del bilanciere e della molla cangiano, e quindi la durata delle oscillazioni. Venendo a crescere la temperatura, il movimento dell'orologio si rallenta; mentre si accelera se dessa diminuisce. Per distruggere nei cronometri questi effetti si fissano al bilanciere delle lamine compensatrici *MN* ed *M'N'* (*Tav.* VI, *Fig.* 179) costruite con delle lamine di rame e di ferro; le estremità portano delle piccole masse d'oro che possono avvicinarsi o allontanarsi. Quando la temperatura cambia, la curvatura delle lamine compensatrici cambia anch'essa, ed esse allontanano o ravvicinano le piccole masse *M* ed *N'* al centro di rotazione: nel primo caso sarà necessaria una maggior forza nella spirale per farle girare; nel caso contrario la loro rotazione esigerà una forza minore. Si potranno dunque disporre le lamine in modo che le variazioni di queste forze sieno in senso contrario di quelle che prova la spirale pei cambiamenti di temperatura.

Breguet ha immaginato un termometro metallico molto sensibile, fondandosi sul principio delle lamine compensatrici. Questo termometro si compone di una spirale metallica *MN* (*Tav.* VI, *Fig.* 180) che è fissata in una pinzetta, e stretta a vite ad una estremità. Questa estremità della spirale è sostenuta da un braccio *QP* fisso sopra un piano *AB*. All'altra estremità libera della spirale è unito perpendicolarmente un ago *ab* che serve da indice, scorrendo sopra un circolo graduato. Il tutto è coperto da una campana di vetro. La spirale di questo termometro si compone di una sottilissima lamina fatta di tre altre lamine saldate insieme, di platino, d'oro e di argento, e la spirale è disposta in modo che l'argento ne occupa la concavità. Poichè questa lamina di argento si dilata e si contrae, per le variazioni di temperatura, assai più delle altre due, deve di necessità la spirale distendersi o contrarsi, diminuire o aumentare di curvatura per le variazioni di calore. La lamina d'oro interposta non fa che moderare questi movimenti; giacchè l'argento dilatandosi molto più del platino,

potrebbero le variazioni assai brusche di temperatura portare la rottura o la separazione delle due lamine. Questo termometro è estremamente sensibile; basta di avvicinare una mano alla spirale perchè l'indice si muova all'istante di molti gradi. S'intende presto questa grande sensibilità, riflettendo quanto è piccola la massa della spirale che deve scaldarsi, e quanto è grande la conducibilità pel calore dei metalli che la compongono.

Misura della dilatazione dei liquidi. — La misura della dilatazione dei liquidi può aversi con un metodo immaginato da Dulong e Petit e da essi impiegato alla determinazione della *dilatazione assoluta del mercurio.* Così chiamasi l'effettiva dilatazione che subisce questo liquido; imperciocchè quella che ci viene indicata dal termometro non è che una dilatazione relativa, essendo essa la differenza della dilatazione del mercurio e quella del vetro in cui è contenuto.

L'apparecchio di cui si servirono Dulong e Petit per la determinazione della dilatazione assoluta del mercurio, consisteva nella sua maggior semplicità in due larghi tubi di vetro *A* e *D*, in comunicazione per mezzo di un tubo sottile orizzontale *BC*, nei quali versavano del mercurio. Ora, secondo la legge dell'equilibrio dei liquidi nei vasi comunicanti, questo liquido doveva inalzarsi alla medesima altezza nei due bracci *AB* e *CD*. Se questi due bracci avessero contenuto due liquidi di diversa densità, le loro altezze dovevano essere, nello stato d'equilibrio, in ragione inversa della loro densità; e ciò qualunque fossero le dimensioni relative dei due bracci verticali e le loro forme, purchè i tubi all'altezza dei livelli non fossero capillari. Uno dei tubi era tenuto costantemente alla temperatura di zero, mentre nell'altro tubo la temperatura s'inalzava più o meno. Il mercurio contenuto in questo tubo veniva a dilatarsi, quindi diminuiva la sua densità, e per l'equilibrio fra le due colonne era necessario che la sua altezza aumentasse. Dalla differenza di lunghezza delle due colonne si deducevano immediatamente le varie dilatazioni di quella che veniva riscaldata alle diverse temperature a cui era esposta. Le lunghezze delle due colonne sono in ragione inversa della loro densità; la densità è in ragione inversa dei

volumi, e perciò le altezze sono proporzionali ai volumi. L'allungamento che subisce una delle colonne liquide è in questo modo affatto indipendente dalla forma del vaso e dall'aumento della sua capacità pel riscaldamento, ed è perciò proporzionale all'accrescimento di volume che il liquido proverebbe, supponendo che fosse contenuto in recipienti che non variassero di forma per l'inalzamento della temperatura. Perciò chiamando h l'altezza della colonna del mercurio, esposta a 0° ed h' quella della colonna riscaldata a t gradi, e K il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio, avremo:

$$K = \frac{h' - h}{h\,t}.$$

Dulong e Petit non trascurarono cautele per procedere in queste ricerche. Il loro intiero apparecchio è rappresentato dalla Figura 181 della Tavola VI. $ABB'A'$ è il tubo ricurvo che contiene il mercurio, e si compone dei due larghi tubi AB e $A'B'$ che sono riuniti da un tubo orizzontale BB' assai sottile e di un eguale diametro in tutti i punti. Gli effetti della capillarità sono tolti con questa costruzione. Il tubo orizzontale riposa sopra una grossa sbarra di ferro MN, sulla quale vi sono due livelli a bolla d'aria, posti ad angolo retto e destinati a verificare la perfetta orizzontalità della sbarra medesima. La temperatura del braccio AB è mantenuta costantemente a zero, per mezzo di un cilindro di latta che lo circonda, e che si empie di ghiaccio triturato. Per inalzare la temperatura dell'altro braccio $A'B'$ si adopra un cilindro di rame che lo circonda, che si empie di olio al cominciare dell'esperienza, e che ha sotto di sè un fornello pel riscaldamento di questo liquido. Tre termometri di genere diverso servono a determinare la temperatura di questo bagno. Uno di questi è un termometro ordinario a recipiente cilindrico; un altro è un *termometro* così detto a *pesi*, consistente in un largo tubo di vetro empito di un determinato peso di mercurio a zero, da cui il riscaldamento fa uscire una certa quantità di mercurio, dal peso della quale si deduce la temperatura del bagno; ed un altro infine è un termometro ad aria, di cui tratteremo fra breve. Infine la determinazione delle altezze vien fatta per

mezzo di un canocchiale orizzontale, mobile sopra un regolo verticale diviso e munito di verniero.

Dulong e Petit, dopo aver ripetuto molte volte l'esperienza descritta, stabilirono che il coefficiente della dilatazione assoluta del mercurio è $\frac{1}{5550}$. Ma essi osservarono che questo coefficiente si mantiene costante solo per le temperature comprese tra 0° e 100°, mentre cresce al di sopra di 100°, essendo il coefficiente medio tra 100° e 200° eguale ad $\frac{1}{5425}$, e tra 200° e 300° eguale ad $\frac{1}{5300}$. Il numero esprimente la dilatazione apparente del mercurio nel tubo termometrico è $\frac{1}{6480}$. La differenza di questi due numeri deve attribuirsi all'accrescimento di capacità del recipiente. Si può anzi dedurre da questa differenza la dilatazione del vetro che forma il recipiente termometrico. Difatti l'accrescimento di capacità di questo recipiente equivale alla dilatazione che proverebbe un volume di vetro tutto solido eguale alla capacità del recipiente stesso, e soggetto a quella temperatura.

Da ciò ne è nato il metodo che viene impiegato per la determinazione del coefficiente di dilatazione di tutti quei corpi solidi capaci di prendere la forma di un termometro. Ecco in che consiste questo metodo. Si riempie il recipiente termometrico di mercurio alla temperatura di 0°, poscia si raccoglie il liquido che esce riscaldandolo ad una certa temperatura. La dilatazione apparente è data dalla quantità di mercurio che esce dal tubo ad ogni operazione. Infatti, sia P il peso totale del mercurio contenuto nel tubo a zero, sia p il peso del volume scacciato dal calore; $\frac{p}{P-p}$ è il rapporto fra il peso del volume uscito dal tubo, e il peso del volume rimanente. Questo rapporto esprime la dilatazione apparente per t gradi, per cui dividendo per t, si avrà la dilatazione del mercurio per l'unità di volume e l'unità di temperatura. Si sostituiscono qui i pesi ai volumi, giacchè, ad una stessa temperatura, i pesi sono proporzionali ai volumi. Quindi chiamando d la dilatazione apparente del mercurio, avremo $d = \frac{p}{(P-p)t}$, che abbiamo già detto essere eguale a $\frac{1}{6480}$.

Sottraendo dalla dilatazione assoluta l'apparente, si ottiene il coefficiente di dilatazione del corpo solido che costituisce il recipiente. Con questo metodo si è giunti a stabilire che il coefficiente di dilatazione del vetro è eguale ad $\frac{1}{38700}$ del suo volume a 0° per ogni grado del termometro centigrado, per le temperature comprese fra zero e cento.

Sulla nozione della dilatazione apparente del vetro è fondato il *termometro a peso*, già da noi indicato, perchè dal peso del mercurio uscito da questo istrumento si può dedurre la temperatura a cui è stato portato. Infatti l'esperimento sopra esposto avendoci portato alla formola $\frac{p}{(P-p)t} = \frac{1}{6480}$, è facile dalla medesima ricavare il valore di t, quando si conoscano quelli di P e p. Difatto si ha $t = \frac{p \times 6480}{P - p}$.

Conoscendo poi la dilatazione assoluta del mercurio, si giunge facilmente a ridurre alla temperatura costante di 0°, tutte le altezze barometriche osservate a qualsiasi temperatura, a fine di renderle fra loro comparabili. Questa riduzione si fa col calcolo seguente. L'altezza barometrica a $t°$ sia H, e sia h l'altezza a 0°. Poichè il coefficiente di dilatazione assoluta del mercurio per ogni grado è $\frac{1}{5550}$, è evidente che sarà $H = h + \frac{1}{5550} \times ht$ ossia

$$H = h\left(1 + \frac{t}{5550}\right) = h\left(\frac{5550 + t}{5550}\right),$$

$$\text{da cui } h = \frac{5550 \times H}{5550 + t}.$$

Differente dilatabilità dei liquidi. — I fisici si sono occupati a determinare il coefficiente di dilatazione assoluta dei varj liquidi, e a ricercare se questo coefficiente rimaneva lo stesso per uno stesso liquido a tutte le temperature, o, in altri termini, se la loro dilatazione era uniforme. Il resultato generale di queste ricerche si è che la dilatazione dei diversi liquidi è varia, e neanco si opera uniformemente in ciascuno di essi, perocchè allorquando sono prossimi a quelle temperature che corrispondono al loro cambiamento di stato, cioè alla loro ebullizione e congelazione, le loro dilatazioni e contrazioni vanno soggette a grandi anomalie. Ordinariamente si

osserva che avvicinandosi alla temperatura a cui si convertono in vapore, le loro dilatazioni crescono più rapidamente.

La non uniformità della dilatazione dei varj liquidi, è facile a stabilirsi confrontando le dilatazioni che avvengono in diversi termometri costruiti con liquidi differenti ed egualmente graduati. Questi istrumenti esposti a una data temperatura dovrebbero in tutti i casi trovarsi d'accordo, qualora le colonne liquide si dilatassero tutte uniformemente. L'esperienza invece dimostra che ciò non accade. Ecco i numeri determinati da Davy confrontando dei termometri a mercurio, ad alcool, a olio, ad acqua, e ad acqua salata.

Mercurio	Alcool	Olio	Acqua	Acqua salata
100°	100°	100°	100°	100°
75°	70°,25	74°,1	57°,25	71°,37
50°	43°	49°	25°,6	45°,37
25°	20°,6	24°,1	5°,1	21°,6
0°	0°,	0°	0°	0°,

La semplice ispezione di questo quadro mostra come i diversi liquidi si dilatino irregolarmente, e come si dilatino più uniformemente quelli che bollono ad una temperatura molto alta. Si cadrebbe perciò in un grande errore adoprando indifferentemente un liquido qualunque per costruire il termometro.

L'acqua nella sua dilatazione presenta un fenomeno curioso, che la distingue dagli altri liquidi. Allorchè la temperatura di un dato volume di questo liquido si abbassa da 100° a 4°, il suo volume diminuisce, e quindi la sua densità aumenta; ma se la temperatura continua ad abbassarsi da 4° verso 0°, la sua densità invece diminuisce; ed avviene che nel raffreddarsi maggiormente si dilata. Alla temperatura di + 4° adunque l'acqua è al suo *massimo di densità.* È assai facile determinare coll'esperienza questo massimo di densità. Ricordiamoci che un liquido perde una porzione del suo peso eguale al peso del liquido spostato, e che perciò questa perdita di peso varia colla densità del liquido. Supponiamo di pesare un corpo di un volume determinato, tenendolo immerso nell'acqua a diverse temperature; è certo che la temperatura del massimo di

densità sarà quella dell'acqua in cui è maggiore la perdita del peso fatta dal corpo immerso. Hallstrom ha con molte osservazioni determinato che questo massimo di densità dell'acqua è esattamente a 4°, 108, e che ad 8° una data massa di acqua occupa sensibilmente lo stesso volume che a zero. In conseguenza del massimo di densità dell'acqua a + 4°, avviene che quando si espone alla temperatura di zero una massa di questo liquido, mentre lo strato inferiore di essa segna + 4, i superiori segnano + 3, + 2, + 1 ed anche zero, ed il liquido comincia a congelarsi alla superficie. Questo è ciò che si osserva nei grandi laghi, ove il fondo ha costantemente nell'inverno una temperatura di circa + 4°, mentre la superficie è gelata. Appena le acque stagnanti cominciano a risentire gli effetti dell'abbassamento della temperatura, il liquido della superficie è il primo a raffreddarsi, e quindi a farsi più denso; perciò scende al fondo finchè non giunge a + 4°. Lo strato che gli succede alla superficie subisce gli stessi cambiamenti; e così, di strato in strato, la massa liquida si trova portata intieramente alla temperatura di + 4° e quindi alla stessa densità. Proseguendo allora il raffreddamento, lo strato superficiale che è il primo a risentirlo, non discende più, perchè si fa più leggiero, e rimane al suo posto anche alla temperatura di 0°, alla quale comincia a congelarsi. Nelle acque correnti questo fenomeno non si osserva, perchè i diversi strati si mescolano continuamente per il moto della corrente. Ermann, cercando di scoprire se nelle soluzioni di sal marino vi era lo stesso massimo di densità che nell'acqua pura, trovò che la presenza di questo sale tende ad abbassare verso zero la temperatura del massimo di densità, e che questo massimo non esiste più in una soluzione molto carica di sal marino. Le esperienze di Despretz hanno stabilito che tutte le soluzioni saline posseggono un massimo di densità, di cui la temperatura è tanto più prossima a quella della loro congelazione quanto più grande è la quantità di sale che vi è disciolta.

Misura della dilatazione dell'aria e dei gas. — I gas si dilatano assai più dei solidi e dei liquidi; non di meno è stato assai difficile determinare il loro coefficiente di dilatazione, a motivo di una causa di errore che molto facilmente s'incontra

operando su questi corpi, vale a dire la presenza del vapore acquoso. La forza elastica di questo vapore si aggiunge a quella dei gas e cagiona degli errori considerevoli. Così per esempio se si prendono due recipienti di egual capacità pieni di aria, e si riscaldano alla stessa temperatura, l'aria si dilata, esce, e si può determinare quanta ne è escita portando le aperture dei due recipienti sotto il mercurio o sotto l'acqua. L'aria dei recipienti si raffredda, diminuisce di elasticità, e la pressione atmosferica costringe il liquido ad inalzarsi nei recipienti stessi e ad occupare il volume dell' aria uscita. Si vede però una gran differenza nel volume del liquido che si è sollevato nei due recipienti se in uno di essi v'era un po' d'acqua. In questo la quantità del liquido introdottasi è molto maggiore, poichè la forza elastica del vapore acquoso formatosi ha scacciato dal recipiente una porzione dell'aria. Gay-Lussac ha allontanato questo errore prodotto dalla presenza del vapore acquoso nei gas prendendoli allo stato secco. Volta molti anni prima di lui avea determinato la dilatabilità dell'aria, prendendola perfettamente secca ed operando in un bagno di olio. I resultati di Gay-Lussac si sono accordati con quelli del grande fisico italiano. Ecco l'apparecchio ed il metodo che Gay-Lussac ha tenuto in queste ricerche. All'estremità di un tubo *A* (*Fig.* 182, *Tav.* VI) di vetro, diviso in parti di egual capacità, si soffia un recipiente sferico o cilindrico, e si determina esattamente a qual numero delle divisioni del tubo la sua capacità corrisponde. Si comincia dall'empire di mercurio questa specie di termometro, e poscia si fa bollire il mercurio per cacciare l'aria e l'umidità. Dopo un'ebullizione sufficientemente prolungata del mercurio nel tubo, si adatta alla sua estremità un cilindro di vetro *MN*, contenente dei frammenti di una sostanza molto avida di umidità, come cloruro di calcio, e pieno del gas di cui si vuol misurare la dilatazione. Allora per mezzo di un filo di platino che entra nel tubo *AB* attraverso il cilindro *MN*, e scuotendo convenientemente l'apparecchio si fa cadere in questo cilindro il mercurio racchiuso nella palla e nel tubo, ed il gas che contiene questo cilindro, completamente disseccato dal cloruro di calcio, s' introduce nel tubo e nella palla. Si opera in modo che nel tubo *AB* resti

soltanto che una piccolissima goccia di mercurio che serve a separare il gas interno dall'aria atmosferica, e fa l'ufficio d'indice. Quando il tubo non contien altro che del gas secco e questa goccia di mercurio, si porta l'apparecchio in bagni di differenti temperature, e si osservano le dilatazioni dai movimenti dell' indice di mercurio. A quest' uopo Gay-Lussac adoprava una cassa di latta *MNPQ* piena di acqua (*Fig.* 183, *Tav.* VI), di cui s'inalzava a piacere la temperatura per mezzo di un fornello sottoposto. Nella parte superiore di questa cassa trovansi tre tubulature: le due estreme *E* ed *F* sono destinate a lasciare sviluppare il vapore che formasi nella cassa; quella di mezzo riceve un termometro, il cui serbatojo è immerso nel bagno. Infine le due facce laterali opposte sono guarnite ciascuna di una tubulatura; ed è per mezzo di una di queste che s'introduce in una posizione orizzontale il tubo contenente il gas che si vuol sottoporre all'osservazione. L'altra riceve pure orizzontalmente un termometro, il quale essendo immerso nello stesso strato liquido del tubo contenente il gas, indica ad ogn' istante la temperatura alla quale è sottoposto. I tubi entrano a sfregamento nei tappi forati, onde poterli estrarre a volontà per riconoscere la posizione dell'estremità della colonna del mercurio nel termometro e quella dell'indice nel tubo contenente il gas. L'esperimento si comincia dall'empire di ghiaccio in fusione la cassa di latta, e determinando sul tubo la divisione alla quale l' indice si arresta. Essendo conosciuta la capacità della bolla in gradi del tubo, si deduce da questa prima osservazione il volume occupato dal gas alla temperatura di zero. Allora scaldando l'acqua della cassa per mezzo del fornello su cui posa, e determinando le varie temperature per mezzo dei due termometri a mercurio che vi sono immersi, si può facilmente stabilire l'aumento di volume che subisce il gas leggendo i gradi segnati dall'indice. Non v' è che una precauzione da aversi in queste esperienze, ed è quella di osservare il barometro, e di assicurarsi che la pressione atmosferica non abbia cambiato nel tempo della osservazione. Se ciò fosse accaduto, il volume del gas avrebbe variato indipendentemente dalla temperatura. Se si suppone costante questa pressione, e se si trascura la variazione di capacità del re-

cipiente del tubo, ciò che può sempre farsi stante la grande differenza di dilatabilità fra il vetro ed i gas, si ha immediatamente la dilatazione totale dell'unità di volume del gas sperimentato, per la variazione di temperatura fra 0° ed un altro grado qualunque. Chiamando 1 il volume primitivo del gas a 0°, si trova che riscaldato da 0° a 100° il suo volume è divenuto 1 più una frazione. Gay-Lussac determinò questa frazione rispetto al volume primitivo, e trovò che per tutti i gas è espressa dalla frazione decimale 0,375, ossia un poco più del terzo del loro volume a zero. Egli non si limitò a misurare la dilatazione dei gas da 0° a 100°, ma la misurò anche per delle variazioni di temperature intermedie, e trovò che la dilatazione tra 0° e 50° è la metà di quella che è per 100°, e che in generale la dilatazione è uniforme e proporzionale alle temperature. Il coefficiente di dilatazione dei gas, espresso dal numero 0,375 per l'intervallo da 0° a 100°, sarà per un grado la centesima parte, cioè 0,00375, la quale ridotta in frazione ordinaria è eguale ad $\frac{1}{267}$. Dunque ogni gas si dilata per ogni grado del termometro centigrado di $\frac{1}{267}$ del suo volume a 0°. L'eguaglianza di dilatazione di tutti i gas è stata stabilita da 36° sotto a 0° a 360° sopra 0°. L'uniformità di dilatazione per uno stesso gas, che si verifica da 36° sotto zero a 100°, non si verifica più esattamente per le temperature più alte.

Le leggi della dilatazione dei gas furono scoperte quasi nello stesso tempo da Gay-Lussac e da Dalton, abile fisico di Manchester; poscia furono verificate da Petit e Dulong. Non di meno Rudberg fisico Svedese, annunziò in questi ultimi anni che il coefficiente di dilatazione stabilito da Gay-Lussac era troppo grande, e che il suo valore era compreso fra 0,00364 e 0,00365. Nel 1842 Regnault riprese ad esaminare la questione, adottando metodi sperimentali molto variati, e giunse a stabilire il numero 0,003665 per coefficiente di dilatazione dell'aria asciutta ad ogni grado centigrado, numero che può rappresentarsi dalla ordinaria frazione $\frac{1}{273}$. Regnault ha altresì trovato che il gas acido carbonico ed alcuni altri gas hanno un coefficiente di dilatazione un poco diverso da quello dell'aria, e

che in generale i soli gas semplici hanno esattamente lo stesso coefficiente di dilatazione.

Resulta dall'estrema dilatabilità dei fluidi aeriformi, che allorquando si vuol calcolare in un modo esatto il peso di un certo volume di gas, è essenziale di tener conto della sua temperatura. S' intende infatti che la densità di un dato volume di gas, e conseguentemente il suo peso, debbono essere tanto più piccoli, quanto più alta è la temperatura di esso. I fisici per avere un dato costante hanno stabilito il grado di zero per temperatura fissa e normale, ed è a questa temperatura che hanno convenuto di ridurre il volume di un gas qualunque di cui si debba determinare il peso e la densità. Chiamando per esempio V il volume di questo gas, e supposta a 10° la sua temperatura, dovremo cercare qual sarà il volume V' di questo gas alla temperatura di 0°. Prendendo per base il resultato di Gay-Lussac, potremo stabilire l'equazione seguente

$$V = V' + 0{,}0375 \times V', \text{ ossia}$$
$$V = V' (1 + 0{,}0375), \text{ da cui}$$
$$V' = \frac{V}{1{,}0375}.$$

La formula generale di questa riduzione, chiamando t la temperatura, sarà

$$V' = \frac{V}{1 + 0{,}00375\ t}$$

Termometro ad aria. Poichè l'aria ed i gas si dilatano assai più uniformemente dei liquidi, si pensò di costruire dei termometri ad aria o a gas onde ottenere con maggiore esattezza le indicazioni delle temperature. Il più semplice dei termometri ad aria consiste in un tubo simile a quello che abbiamo descritto per la determinazione delle leggi della dilatazione dei gas, ed in cui s'introduce dell'aria bene asciutta. Basta perciò di avere un tubo di vetro ben graduato con un recipiente ad una estremità, e le cui divisioni sieno in un rapporto ben determinato colla capacità del recipiente. Per graduarlo si porta a zero la temperatura del termometro, e

si rappresenta con 273 il volume che occupa a questa temperatura l'aria contenuta nel termometro. Il volume dell'aria partendo da 0°, diverrà successivamente 274, 275, 276 ec. per l'aumento di 1°, 2°, 3° ec. e quando sarà raddoppiato, la temperatura sarà di 273°. È in una parola un termometro di cui lo zero è segnato a 273.

Onde applicare il termometro ad aria alla misura delle alte temperature, si fa il bulbo d'una sostanza infusibile, come sarebbe il platino. Si ottiene allora un *Pirometro ad aria.* Nei Pirometri ad aria di Pouillet e di Regnault l'indice non consiste in una goccia di mercurio, come nell'apparecchio di Gay-Lussac, ma sivvero in una colonna di quel liquido. Il recipiente dell'aria è di platino, e comunica per mezzo di un lungo tubo *ab* dello stesso metallo (*Fig.* 184, *Tav.* VI) con un tubo verticale di vetro *d*, diviso in parti di capacità eguale, ed avente un'altezza maggiore della colonna barometrica. Questo è a sua volta in comunicazione con un secondo tubo di vetro *n*, che gli è parallelo, mediante un'armatura di ferro munita del robinetto *r*. I due tubi sono pieni di mercurio fino ad un certo livello. Il serbatojo di platino, il suo tubo di comunicazione e la parte superiore del tubo *d* sono pieni di aria secca, di cui si conosce il volume alla temperatura di 0°. Inalzando la temperatura dell'aria contenuta nel recipiente di platino, essa dilatasi, penetra nel tubo graduato *d*, preme sulla colonna di mercurio del medesimo, e la costringe ad abbassarsi. Affinchè la forza elastica di quest'aria si mantenga eguale alla pressione atmosferica del momento, si apre il robinetto *r* per fare scolare del mercurio e così mantenere le due colonne allo stesso livello. Ad un certo determinato punto si potrà misurare il volume dell'aria dilatata sopraggiunta nel tubo. Conoscendo il volume primitivo dell'aria a zero, si ha la dilatazione subita, dividendo pel medesimo il volume dell'aria sopraggiunta nel tubo graduato. Dividendo il quoziente per $\frac{1}{273}$, ossia moltiplicandolo per 273, si ottiene la temperatura cui fu esposta l'aria medesima. Così se la dilatazione fosse espressa da $\frac{1}{2}$, la temperatura sarebbe eguale a 136°,5; se da 2 sarebbe di 546°, e così di seguito. Con questo metodo il Pouillet ha determinato in

gradi centigradi le diverse temperature corrispondenti ai diversi colori che prendono l'oro, il platino, l'argento e gli altri metalli inalterabili, quando si scaldano in un forno o al fuoco di fucina. Ecco il quadro di questi resultati.

Colori	Temperature corrispondenti
Rosso nascente	525°
Rosso scuro	700°
Ciliegia nascente	800°
Ciliegia	900°
Ciliegia chiaro	1000°
Arancione cupo	1100°
Arancione chiaro	1200°
Bianco	1300°
Bianco splendentissimo	1500° a 1600°

Quest'ultima è la più alta temperatura del fuoco di fucina.

Confronto del termometro ad aria col termometro a mercurio. Regnault, da osservazioni accuratissime, concluse che il termometro ad aria si accorda presso a poco esattamente col termometro a mercurio fra 0° e 250°: oltre questo punto il termometro a mercurio va innanzi al termometro ad aria; a 300° la differenza è di 1°, a 325° è di 1°, 75; infine a 350° è di circa 3°. Secondo Regnault due termometri ad aria saranno sempre comparabili, qualunque sia la natura del vetro del loro invoglio, imperocchè la dilatazione del vetro è sì piccola, rispetto a quella dell'aria, da potersi trascurare; lo che non accade nei termometri a mercurio, nei quali la dilatazione del vetro è apprezzabilissima rispetto a quella del mercurio, per cui per render paragonabili due termometri a mercurio convien formarli con invogli di vetro della stessa natura, o che seguano almeno le stesse leggi di dilatazione. Bisognerà adunque nelle esperienze di massima precisione osservare direttamente le alte temperature sul termometro ad aria a preferenza di qualunque altro termometro.

Movimenti dell'aria prodotti dal calore. Abbiamo visto che quando s'inalza la temperatura dell'aria, questa dilatasi, e quindi sotto lo stesso volume diviene meno pesante. Sappiamo inoltre che ogni qual volta un corpo è immerso in un fluido liquido

o gassoso tende a discendere con una forza eguale al suo peso e a salire con una forza eguale al peso del fluido spostato: conseguentemente quando per una causa qualunque una porzione di aria trovasi riscaldata, essa tende a inalzarsi con una forza eguale alla differenza tra il peso del volume d'aria fredda di cui occupa il posto ed il suo proprio peso. Se l'aria calda è libera, l'aria circondante la raffredderà continuamente; la resistenza che subirà la dividerà, e bentosto sarà raffreddata e disseminata, come accade all'aria che esce dai cammini. Esaminiamo adesso ciò che accadrà in un canale contenente dell'aria calda. Sia *AB* (*Fig.* 185, *Tav.* VI) un canale cilindrico verticale, aperto alle due estremità, e supponiamo che l'aria esterna introducendosi dalla parte inferiore vi prenda una temperatura costante che supporremo di 100°, essendo a 0° la temperatura esterna: potrebbesi facilmente soddisfare a questa condizione situando inferiormente una lastra di ghisa scaldata al di sotto, e al di sopra della lastra un orifizio laterale che dasse accesso all'aria esterna. È evidente che quando il canale *AB* sarà pieno di aria calda, la forza colla quale essa tenderà ad inalzarsi sarà eguale alla differenza dei pesi di due colonne d'aria aventi per altezza *AB*, una delle quali fosse alla temperatura di 0° e l'altra a 100°. Perciò la pressione sarebbe la stessa di quella che si manifesterebbe in un sifone rovesciato (*Fig.* 186, *Tav.* VI) i cui due bracci, di un'altezza *AB*, fossero riempiti l'uno di un liquido avente una densità eguale a quella dell'aria a 0°, e l'altro di un liquido della densità stessa dell'aria a 100°. La pressione sarebbe pure la stessa di quella che avrebbe luogo nel sifone, il cui braccio *CD* (*Fig.* 187, *Tav.* VI) fosse più lungo del braccio *AB* di tutta la dilatazione dell'aria da 0 a 100°, e i cui bracci fossero riempiti di uno stesso liquido della densità dell'aria a 100°. Ma in quest'ultimo caso la pressione è eguale evidentemente al peso della colonna *CD*; dunque una colonna d'aria calda contenuta in un canale verticale tende ad inalzarsi con una forza eguale al peso di una colonna d'aria calda alla stessa temperatura, la cui lunghezza è eguale alla dilatazione che proverebbe una colonna d'aria fredda della stessa lunghezza, passando dalla temperatura ambiente a quella del canale. Dopo ciò se si con-

sidera l'efflusso dell'aria come se si effettuasse nella stessa guisa di quello di un liquido della stessa densità sottoposto alla stessa pressione, resulta da ciò che precede che la velocità ascensionale sarà eguale allo spazio che un corpo percorrerebbe cadendo da un'altezza eguale alla dilatazione che subisce una colonna d'aria fredda della stessa lunghezza del canale, passando dalla temperatura esterna alla temperatura interna. Per esempio, l'aria esterna essendo a 0°, l'aria interna a 100°, ed il canale avendo 50 metri di altezza, la dilatazione che proverebbe una colonna d'aria di 50 metri passando da 0° a 100° sarebbe $50^m \times 100 \times 0{,}00375 = 18^m, 75$; ora un corpo che cadesse da quella altezza acquisterebbe alla fine della sua caduta una velocità di 19^m, 18 per secondo; questa sarebbe adunque la velocità colla quale l'aria uscirebbe dal canale. Ma noi dobbiamo osservare che la velocità così calcolata è molto più grande di quella che resulta dall'esperienza, a motivo dell'attrito contro le pareti del canale. Si può concludere da ciò che precede, che la condizione essenziale della buona aspirazione di un cammino consiste nel libero afflusso dell'aria fredda, con tutta l'esterna pressione, e che l'aspirazione si farà tanto più grande, quanto più alto sarà il cammino, e quanto maggiore sarà la temperatura.

Ventilazioni fondate sopra le correnti d'aria prodotte dal disequilibrio di temperatura. La maggior parte dei ventilatori sono fondati sul disequilibrio statico dell'aria prodotto dal riscaldamento. Nelle sentine dei bastimenti l'aria si corrompe bentosto, e fa d'uopo rinnovarla spesso. Il mezzo più efficace per raggiungere questo intento è il seguente. Il focolare della nave, situato nella parte superiore del bastimento, è fatto di lamiera e si congiunge con una cassa fatta pure di lastre metalliche; dalla quale partono inferiormente parecchi tubi aspiratori, che si diramano e si prolungano fin verso il fondo della nave, e dalla sua parte superiore s'inalza un canale d'evacuazione che termina all'aria libera. Acceso il fuoco, l'aria nella cassa si riscalda, diminuisce di densità e si eleva pel canale sboccando nell'atmosfera. Questo inalzamento dell'aria determina una corrente nei tubi aspiratori, per la quale subentra nuova aria nella cassa, che si riscalda a sua volta,

ascende ed esce pel canale di sgorgo. Intanto nelle parti inferiori del bastimento l'aria aspirata è rimpiazzata da nuova aria, che vi si precipita dall'esterno. Negli ordinarj cammini e nelle stufe si genera una corrente d'aria, che col fumo ascende per la canna, promuovendo una ventilazione nella stanza. Nei fornelli delle caldaje a vapore si promuove l'affluenza dell'aria per la loro bocca ad avvivare il fuoco, elevando alla maggiore altezza possibile il condotto del fumo. Per la stessa ragione si promuove l'aspirazione dell'aria nei fornelli portatili, coprendoli con una specie di cupola di lamiera di ferro sormontata da un lungo tubo.

Negli ospedali, nei teatri, nelle miniere ed in molte officine si promuove la ventilazione secondo il medesimo principio. L'aria riscaldata nell'ambiente per le molte persone che vi si trovano, si eleva verso il soffitto, e quella meno calda si dispone verso il pavimento. Si praticano perciò alcuni fori verso l'alto della stanza ed alcuni altri presso il pavimento, e questi si fanno comunicare coll'aria aperta. L'aria nell'elevarsi verso il soffitto fugge dai pertugj superiori, e promuove l'introduzione di una corrente di nuova aria nella stanza pei fori posti inferiormente. La *ventola a molinello*, che in alcuni luoghi si applica alla parte superiore del telajo delle vetrate, per promuovere la ventilazione, fa le veci dei fori superiori; mentre dalle fessiture inferiori degli usci o delle finestre entra l'aria dal di fuori.

2.° *Del cambiamento di stato dei corpi pel calore.*

Della fusione. Dicesi fusione il passaggio dei corpi dallo stato solido allo stato liquido. È facile accorgersi che questo fenomeno è prodotto dal calore, e che nessun'altra causa in natura può determinare i corpi a questo cambiamento. Il ghiaccio può essere spezzato e ridotto in polvere, può esser sottoposto a tutte le potenze meccaniche e a tutti gli agenti naturali, senza cessare di essere un corpo solido, a meno che il calore non venga ad esercitare su di esso la sua azione per convertirlo in acqua. Lo stesso accade alla cera; e quando la vediamo fondersi ai raggi del sole, ci accorgiamo bene che

ciò accade per l'effetto del calore e non per quello della luce. E se il piombo può liquefarsi e colare quando si batte a colpi raddoppiati su di un' incudine, ciò dipende perchè nella percussione si sviluppa del calorico nel modo stesso che nella combustione. Perciò lo stato di solidità o di fluidità di un corpo è uno stato relativo, dipendente unicamente dalla temperatura alla quale questo corpo è sottoposto. Ad un'altra distanza dal sole, la terra prenderebbe un' altra consistenza ed un altro aspetto: se ne fosse più vicina, la maggior parte dei metalli sarebbero allo stato di fusione, e la profondità dei mari invece di esser riempita di acqua potrebbe benissimo esserlo di sostanze metalliche liquefatte: al contrario, se essa fosse più lontana, il mare sarebbe una massa solida, non vi sarebbero acque correnti e probabilmente più alcun liquido in circolazione per produrre i fenomeni organici della vegetazione e della vita.

Il calore penetra e dilata tutti i corpi, ma è desso capace di farli tutti senza eccezione passare dallo stato solido al liquido? Esaminando sotto questo rapporto i varj corpi, vedonsi fra loro delle grandissime differenze: ve ne sono alcuni fusibilissimi, come il mercurio, il quale non può esistere allo stato solido che nelle regioni più settentrionali del globo, e si fonde a 39°; altri, quali sono il ghiaccio, la cera, il sevo, il fosforo ec., non possono sostenere che delle temperature assai basse; ve ne sono altri che esigono per fondersi delle temperature un po' più alte, come lo stagno, il piombo, ed alcune leghe metalliche; infine ve ne sono alcuni che non possono entrare in fusione che alle più alte temperature, come l'acciajo, il ferro, ed il platino. I corpi che resistono al fuoco di fucina, che è capace di fondere il ferro e l'acciajo, son detti *infusibili*, *fissi* o *refrattarj*; ma poichè i nostri mezzi di produrre calore si perfezionano ogni giorno più, il numero delle sostanze fisse va continuamente diminuendo. Questi corpi sono suscettibili di liquefazione mediante dei processi chimici. Così la calce, il quarzo ed altre materie, giudicate per lungo tempo affatto refrattarie, si sono potute fondere per mezzo della fiamma del gas ossidrogeno. Il carbone sembrava essere il più refrattario di tutti i corpi; non di meno, Despretz in

questi ultimi tempi è giunto a fonderlo per mezzo di un'altissima temperatura prodotta dal concorso delle tre principali sorgenti del calorico, cioè il calor solare, la combustione e l'elettricità. Vi sono non di meno certi corpi solidi, come gli organici, i quali non possono fondersi: ciò dipende dalla decomposizione che subiscono, in grazia del calore, prima di esser giunti alla temperatura della loro fusione; ma è certo che se potessero mettersi in circostanze tali da non decomporsi pel calore, si giungerebbe a fonderli.

Condizioni della fusione. Quando i corpi passano dallo *stato* solido allo stato liquido, presentano due fenomeni rimarchevolissimi: in primo luogo essi restano solidi finchè non sono giunti ad una certa temperatura *fissa*, che è sempre la stessa per lo stesso corpo; ed è allora soltanto che la *fusione* comincia; in secondo luogo essi rimangono alla stessa temperatura durante tutto il tempo della fusione, qualunque sia la quantità di calorico che si può loro fornire; onde segue che essi assorbono questo calorico per fondersi, e lo nascondono nel loro interno senza lasciarlo apparire all'esterno; quindi questo calorico vien detto *latente*. Perciò *la costanza della temperatura, e l'assorbimento del calorico latente* sono le due condizioni immancabili della fusione.

Questi fenomeni possono esser facilmente costatati sui corpi che si fondono a delle temperature accessibili al termometro a mercurio. Si prenda del fosforo, si ponga in un recipiente pieno di acqua, e si riscaldi dopo avervi immerso un termometro: si osserverà in qualunque circostanza che questo corpo comincerà a fondersi quando il termometro segnerà 43°. Se invece si prendesse dello zolfo e si ponesse sul fuoco entro un piccolo crogiuolo di terra, si osserverebbe costantemente che il suo punto di fusione è a 110°. Un'esperienza che prova ad evidenza l'assorbimento di una certa quantità di calorico nella fusione, e il suo rendersi latente è la seguente. Si prendano due palloni di vetro eguali di peso e di volume; si ponga nell'uno un peso determinato di ghiaccio a zero, e nell'altro un egual peso d'acqua pure a zero; si dispongano i due palloni in una stufa e si segua attentamente la temperatura del pallone primitivamente pieno di acqua; si vedrà che nel momento che quest'acqua

sarà a 75°, il ghiaccio dell'altro pallone sarà totalmente fuso, senza che però la sua temperatura sia sensibilmente cambiata. Siccome i due palloni sono posti nelle stesse circostanze, devono ricevere lo stesso calore nel medesimo tempo; resulta da ciò che un dato peso di ghiaccio esige per passare allo stato liquido una quantità di calore capace d' inalzare un peso eguale d'acqua da 0° a 75°. Adunque in un corpo che si fonde la temperatura riman sempre la stessa finchè v'è una porzione del corpo non anche fuso. Appena tutto il corpo si è ridotto allo stato liquido, allora la temperatura comincia ad inalzarsi. Si conserva perciò il nome di *calorico sensibile* a quello che fa variare la temperatura di un corpo, che si misura col termometro e che agisce sui nostri sensi.

Si può facilmente determinare qual' è la quantità di calore che viene assorbita nella fusione del ghiaccio, o per meglio dire possiamo determinare qual sarebbe l' inalzamento di temperatura prodotto dal calorico reso latente dalla fusione del ghiaccio. Difatti, per ciò che abbiamo detto poc'anzi, se si prende una libbra di ghiaccio a 0° e si mescola con una libbra di acqua a 75°, dopo poco il ghiaccio sarà totalmente fuso, ed il miscuglio avrà la temperatura di zero. Questi 75 gradi misurano adunque il calorico latente assorbito dal ghiaccio per fondersi; perchè se invece di una libbra di ghiaccio si fosse presa una libbra di acqua a zero, la temperatura del miscuglio si sarebbe ridotta a 37°, 5, poichè la temperatura di due eguali masse di acqua mescolate sarà sempre la metà della somma delle loro temperature. Si giunge alla stessa determinazione anco senza impiegare masse eguali di ghiaccio e di acqua, e qualunque sia la temperatura di quest'ultima, purchè sufficiente a fondere tutto il ghiaccio. Infatti si rappresenti con M la massa del ghiaccio a 0°, e con m il peso dell'acqua calda a t^0. Si getti il ghiaccio nell'acqua calda; si misuri la temperatura del miscuglio, non appena la fusione è compiuta, e si rappresenti con a questa temperatura. È chiaro che l'acqua raffreddata da t^0 ad a, ha ceduto una quantità di calorico che deve rappresentarsi col prodotto della sua massa per la temperatura perduta, e che perciò è eguale ad $m\ (t - a)$. Il

ghiaccio poi, ove si rappresenti con x il suo calorico di fusione, ha assorbito per fondersi una quantità di calorico eguale ad Mx, e poichè in seguito alla fusione, si è riscaldato da 0° ad α, esso ha di più assorbito una quantità di calorico espressa da $M\alpha$. È evidente che la quantità di calorico perduta dall'acqua calda è eguale a quella assorbita dal ghiaccio; perciò potremo stabilire l'equazione

$$Mx + M\alpha = m\ (t - \alpha)$$

da cui si ha $x = \dfrac{m\ (t - \alpha) - M\alpha}{M}$

Ultimamente i signori De la Prevostaye e Desains hanno trovato, con ricerche esattissime, confermate da Regnault, che il vero numero di gradi esprimente il calorico di fusione del ghiaccio era 79,25.

L'affinità chimica è non di meno una causa che può far cangiare il punto di fusione dei corpi, senza che perciò manchi l'assorbimento del calorico; così per esempio ponendo della neve o del ghiaccio pesto in contatto con del sal marino, il ghiaccio si fonde per l'affinità dell'acqua col sale, e poichè non v'è una sorgente che comunichi il calore necessario al cambiamento di stato, desso vien tolto ai corpi medesimi che si sono mescolati e a quelli circondanti, e la temperatura si abbassa e scende molti gradi al di sotto di zero. Questo è il principio della formazione dei *miscugli frigorifici*. Il limite dell'abbassamento di temperatura che può prodursi con un tal mezzo è determinato dalla temperatura alla quale cessa l'affinità dell'acqua per il sale; ciò avviene appunto alla temperatura di 18° a 20° sotto zero, ed è per questa cagione che col miscuglio frigorifico di ghiaccio e sal marino non si può mai ottenere una temperatura più bassa di quella. Se ciò non fosse basterebbe raffreddare il ghiaccio ponendolo a contatto di un primo miscuglio frigorifico, poi mescolare il sale a questo ghiaccio così raffreddato. Il secondo miscuglio avrebbe così una temperatura più bassa del primo, e non vi sarebbe mai limite di raffreddamento. I corpi detti *fondenti* adoprati nelle arti, come per esempio nella fusione dei metalli, nella fabbricazione del vetro ec. non sono altro che corpi aventi la proprietà di

accelerare la fusione delle materie con cui sono mescolati, combinandovisi e dando luogo a combinazioni più fusibili delle sostanze primitive.

Solidificazione. Nel ritorno dei corpi dallo stato liquido al solido si verificano due condizioni che corrispondono a quelle della fusione. Il corpo si fa solido ad una temperatura fissa, che è quella stessa alla quale si fonde, e intanto tutto il calorico latente che è stato assorbito nella fusione si fa libero nella solidificazione. Basta un termometro a dimostrare il primo di questi fatti. Si prenda infatti del sevo fuso, la temperatura del quale sia molto più alta di quella del suo punto di fusione che è a 33°, 3, vi s'immerga un termometro e si lasci raffreddare; si vedrà che appena comincerà a solidificarsi, il termometro segnerà 33°, 3. Il secondo fatto si può dimostrare nel modo seguente. Si prende un tubo lungo 5 à 6 pollici e del diametro di $\frac{3}{8}$ di pollice, pieno di una soluzione di solfato di soda saturata alla temperatura di 30° a 40°, e chiuso dopo l'ebullizione di una porzione del liquido. Questa soluzione può essere agitata senza che cristallizzi, ma se si rompe l'estremità affilata del tubo, all'istante medesimo essa rappigliasi in massa, e sviluppa tanto calore da rendersi sensibile al tatto. Nella stessa guisa l'acqua nel momento della sua congelazione abbandona tutto il calore che esige il ghiaccio per divenir liquido, e questo continuo svolgimento di calore durante la congelazione dell'acqua fa sì che una massa di varj chilogrammi di questo liquido non si solidifichi che dopo essere stata per molto tempo esposta ad un freddo molto vivo. Parimente è a questa cagione che devesi attribuire il sensibile inalzamento di temperatura che accompagna la caduta della neve.

L'acqua nel congelarsi presenta un fenomeno rimarchevole; voglio dire un considerevole aumento di volume. Già dicemmo che la densità dell'acqua diminuisce nell'abbassare la sua temperatura da 4 a 0°; questa diminuzione di densità persiste nel suo passaggio allo stato solido. È per questo che l'acqua che si congela in un recipiente chiuso produce una forte pressione contro le pareti di questo vaso. La forza che l'acqua sviluppa in questo caso è evidentemente eguale alla

grandissima pressione che bisognerebbe esercitare sopra il ghiaccio per diminuire il suo volume in guisa da fargli riprendere quello dell'acqua a zero. Gli Accademici del Cimento videro rompere grosse pareti di recipienti chiusi in cui avean posto dell'acqua a gelare. Il Maggior Williams empì di acqua una bomba di un piede di diametro, la chiuse esattamente con un turacciolo di legno introdotto a colpi di martello, e la espose ad una temperatura inferiore allo zero. Quando l'acqua cominciò a congelarsi il turacciolo fu lanciato con forte esplosione ad una distanza di oltre 400 piedi, e sortì dalla bomba un grosso pezzo di ghiaccio. Alla congelazione dell'acqua che penetra nelle fibre vegetabili è dovuto lo schiantarsi degli alberi, e la morte delle piante erbacee nell'inverno. Anche certe pietre, non solo romponsi nell'inverno, ma riduconsi in polvere. Queste pietre diconsi *diacciuole*; ma è facile riconoscerle con un metodo proposto dal Berard, consistente nell'imbeverle di una soluzione satura di solfato di soda, la quale nel cristallizzare produce lo stesso effetto dell'acqua che si gela. Oltre l'acqua anche la ghisa ed il bismuto aumentano di volume nel solidificarsi. Quando si lascia lentamente raffreddare del bismuto fuso, nella solidificazione sorge dalla massa una specie di fungo.

L'acqua presenta anche il singolar fenomeno di poter congelarsi a temperature inferiori a 0°. Basta prender dell'acqua perfettamente privata di aria per mezzo di recente ebullizione, ed esporla al freddo continuato di un miscuglio frigorifico senza agitarla minimamente. Vedesi allora il termometro immerso abbassarsi fino a 6° e spesso perfino a 12° sotto zero, mentre essa rimane tuttora liquida. Basta però la più piccola agitazione, il più leggiero movimento prodotto dalla caduta nel liquido di un corpicciuolo solido perchè nell'istante la massa si faccia solida ed il termometro s'inalzi fino a 0°. L'esperienza riesce anche meglio, cuoprendo l'acqua di un leggiero strato di olio, ovvero se è racchiusa in un tubo contenente dell'aria molto rarefatta. Il fenomeno descritto non è facile a spiegarsi in tutte le sue parti. Difficilmente s'intende come le molecole dell'acqua, in conseguenza della quiete o della poca pressione, sopportino un raffreddamento più forte di 0°,

senza unirsi in guisa da costituire un solido, come nelle ordinarie circostanze. Potrebbe forse dirsi che a vincere l'inerzia delle molecole medesime sia necessario un qualche movimento vibratorio, che agitando inegualmente il liquido, le ravvicini inegualmente in modo da stabilire dei centri di solidificazione. In quanto alla solidificazione istantanea di tutta la massa, essa avviene perchè il calorico latente fatto libero dalle prime parti dell'acqua che si congelano, non basta ad inalzare la temperatura delle altre ancor liquide al di sopra di zero, a motivo della temperatura molto bassa a cui erano scese.

Quadro dei punti di fusione di varie sostanze fusibili ben note.

Nomi delle Sostanze	Gradi centesimali	Nomi delle Sostanze	Gradi centesimali
Mercurio	— 40	Lega di 2 piombo, 3 stagno e 5 bismuto .	100
Olio di Trementina . .	— 10	Iodio	107
Ghiaccio.	0	Zolfo	110
Sevo	+ 22,33	Stagno	230
Spermaceti	45	Bismuto.	262
Stearina.	49	Piombo.	340
Cera gialla	61	Zinco.	360
Cera bianca.	68	Antimonio.	432
Acido stearico.	68	Argento purissimo. . .	1000
Fosforo	43	Oro purissimo.	1250
Potassio.	58	Ghisa bianca	1050
Sodio.	90	Ghisa grigia.	1100
Lega di 5 p. di piombo, 3 di stagno, 8 di bismuto	100	Acciajo.	1350
		Ferro dolce	1500

Passaggio dallo stato liquido all'aeriforme. Allorquando un liquido è esposto all'aria accade ordinariamente che diminuisce a poco a poco di volume, e dopo un tempo più o meno lungo sparisce intieramente. Così l'acqua che cuopre la terra dopo le piogge non resiste al soffio di un vento secco e all'azione prolungata del sole; essa si dissipa a capo di qualche giorno, e ciò non solo perchè infiltrasi nel suolo, ma perchè si esala nell'aria. Ne abbiamo infatti la prova in ciò

che accade in un vaso pieno di acqua esposto all'aria libera ed anche in una stanza; l'acqua diminuisce di ora in ora, ed infine non restano nel fondo del vaso che i corpi estranei che teneva disciolti. Lo stesso fenomeno si produce con maggior rapidità quando si fa bollire un liquido per mezzo del fuoco; esso diminuisce a poco a poco e finisce per isparire. Da queste osservazioni si può concludere che per l'effetto del calore, sia alle ordinarie temperature, sia a quelle più elevate, i liquidi cambiano di stato, divengono aeriformi, cioè invisibili, e dotati di forza espansiva come i gas, il che si esprime dicendo che *si vaporizzano* o si riducono in *vapore*. Si dice che i liquidi sono tanto più *volatili* quanto più prontamente si evaporano o si volatilizzano. Per lungo tempo si è supposto che i vapori non potessero nè formarsi nè sussistere da sè, ma che avessero origine alla superficie dei liquidi per l'azione dissolvente dell'aria, e che la presenza dell'aria fosse anche necessaria per mantenerli sospesi nell'atmosfera. Per mostrare la falsità di questa opinione, il mezzo più semplice consiste nell'offrir loro uno spazio privo d'aria e di gas, nel quale possano svolgersi liberamente da sè stessi. Il vuoto barometrico è eminentemente adattato a questo genere di esperienze, non solo perchè è il più perfetto che si può produrre, ma perchè la colonna mobile del mercurio può indicare colla sua depressione l'energia della forza espansiva che esercitasi su di essa. Per mezzo di una pipetta si faccia passare una piccolissima quantità d'acqua nel vuoto barometrico, tosto una porzione di quest'acqua passerà allo stato aeriforme, e ne saremo avvertiti dallo abbassamento che subirà la colonna barometrica in grazia della forza elastica del vapore acquoso. Se invece di acqua si fosse introdotto un liquido molto più volatile di essa, qual sarebbe l'etere, l'abbassamento della colonna sarebbe stato ancor più pronto e considerevole, attesa la subitanea evaporazione di questo liquido. Adunque la presenza dell'aria non è la cagione dell'evaporazione dei liquidi. La causa di questo cambiamento di stato dobbiamo riconoscerla invece nel calore. Difatti a misura che la temperatura s'innalza tale trasformazione si fa più rapida, e viceversa a misura che si diminuisce si fa più lenta. Sembra anzi che per

ogni liquido vi sia una temperatura tanto bassa alla quale esso cessi di convertirsi in vapore. Difatti Faraday ha osservato che una foglia d'oro tenuta a poca distanza dal mercurio in un recipiente chiuso, alla temperatura di 7° sotto zero, non si amalgama come fa all'ordinaria temperatura. Bellani ha parimente osservato che l'acido solforico non emette vapori alla ordinaria temperatura. Essendo il calore la cagione della formazione dei vapori, quando si sottrarrà loro del calore, o in altri termini quando si abbasserà la loro temperatura, dovranno necessariamente ripassare allo stato liquido. Ciò accade realmente; ed ognun sa che un corpo freddo si cuopre di gocce d'acqua esposto al vapore dell'acqua bollente, che i cristalli delle finestre delle nostre camere ben riscaldate si cuoprono pure di rugiada nell'inverno, quando la temperatura esterna è molto bassa.

Dell'ebullizione. La trasformazione dei liquidi in vapori dicesi *evaporazione* se accade soltanto alla loro superficie, e prende il nome di *ebullizione* se i vapori formansi nel seno stesso della massa liquida. L'evaporazione non è accompagnata da alcun movimento del liquido ed è invisibile; nella ebullizione invece tutte le parti della massa liquida sono agitate in ogni senso. Se si fa l'esperienza in un vaso di vetro si scorge la cagione di questi movimenti. Si vede che delle bolle di vapore si formano sulle pareti riscaldate del vaso, che s'inalzano in virtù della loro leggerezza, e vengono a scoppiare alla superficie: appena si formano sono piccole, ma aumentano di volume a misura che s'inalzano; e quelle che partono dai punti più caldi del vaso son quelle che si succedono colla maggior rapidità.

Un liquido qualunque sottoposto all'azione di una sorgente calorifica, si riscalda, cioè a dire la sua temperatura s'inalza, e se ne può giudicare per mezzo di un termometro immerso nel suo seno; ma appena comincia a bollire cessa di riscaldarsi, e la sua temperatura rimane stazionaria, per quanto si accresca il calore che gli si somministra. Coll'aumentare di questo, l'ebullizione si farà più rapida, ma la temperatura non s'inalzerà neanco di un grado. Questo fenomeno si verifica in tutti i liquidi, ma la loro ebullizione avviene bensì a temperature

diverse; l'alcool bolle ad una temperatura più bassa di quella dell'acqua, l'etere ad una anche più bassa di quella dell'alcool; ma in tutti accade che giunti all'ebullizione la temperatura rimane stazionaria. Accade adunque pei liquidi che bollono ciò che abbiamo visto accadere ai solidi giunti al punto della fusione: tutto il calore che si continua a comunicare dalla sorgente al liquido che bolle, è calore impiegato a formare il vapore, è calore reso *latente*. Il vapore che si forma ha la stessa temperatura del liquido che bolle; come il corpo che si fa liquido ha la stessa temperatura del corpo tuttora solido che si fonde. V' ha dunque assorbimento di calorico, e dovrà esservi necessariamente emissione di calorico, allorchè il vapore formato ritorna di nuovo allo stato liquido.

Quadro del punto di ebullizione di varj liquidi sotto l'ordinaria pressione.

Nome dei Liquidi	Gradi del Termometro centigrado
Acqua	100°
Etere solforico	37°,8
Solfuro di Carbono	47°,0
Alcool	79,7
Soluzione satura di Solfato di Soda	100,7
» di Acetato di Piombo	102,0
» di Cloruro di Sodio	106,9
» di Nitro	115,6
» di Cremor di Tartaro	110,7
» di Nitrato di Ammoniaca	125,3
» di Sottocarbonato di Potassa	140,0
Fosforo	290,0
Zolfo	299,0
Acido solforico	370,0
Olio di Lino	316,0
Mercurio	350,0
Essenza di Trementina	158,0

Cause che fanno cangiare il punto di ebullizione di un liquido. Le cause che fanno cangiare il punto di ebullizione di uno stesso liquido sono principalmente la pressione che sopporta e le sostanze che può tenere disciolte. Lo stato di coe-

sione del liquido e la natura del vaso che lo contiene esercitano pure qualche influenza, ma entro dei limiti molto ristretti.

1.° *Influenza della pressione.* Al livello del mare, sotto la pressione ordinaria di 760^{mm}, l'acqua bolle a 100°: alla sommità degli alti monti essa bolle a temperature minori; così sulla cima del Monte Bianco, la cui altezza è di 4775 metri, e dove la pressione atmosferica è di 417^{mm}, l'acqua bolle a 84°. È dunque la pressione dell'aria che fa variare il punto della temperatura a cui l'acqua bolle. Ciò può anche provarsi colla esperienza seguente. Si riscaldi dell'acqua a 50°. A questa temperatura sotto l'ordinaria pressione non può certamente bollire, ma si porti sotto la macchina pneumatica, e vedremo che dopo pochi colpi di stantuffo l'acqua comincerà a bollire. L'acqua potrà bollire anche a delle temperature assai basse, quando la pressione sia convenientemente diminuita. Se s'introduce dell'acqua a pochi gradi sopra zero sotto la macchina pneumatica e si fa il vuoto, quando questo si è quasi interamente operato, l'acqua entra in ebullizione. Non si riesce mai nelle nostre macchine pneumatiche a far bollire l'acqua alla temperatura di zero, perchè non è possibile di scacciare e assorbire intieramente il vapore acquoso che si forma incessantemente alla superficie del liquido, e che vi esercita una certa pressione. L'apparecchio rappresentato dalla Figura 188, Tavola VI, mostra questo fenomeno in un modo anche più apparente. Consiste in un pallone a lungo collo chiuso da un tappo *b*. Questo pallone è pieno a metà di acqua; si pone in piena ebullizione, e quando tutta l'aria è scacciata si chiude col turacciolo *b*; in seguito si rovescia nella posizione che presenta la figura. Quando è abbandonato a sè stesso non si osserva più ebullizione sensibile, perchè la pressione del vapore la impedisce; ma se si versa sulla sua parte superiore dell'acqua fredda, allora l'ebullizione si manifesta istantaneamente con molta forza. L'acqua fredda fa bollire l'acqua del pallone, perchè condensa il vapore e diminuisce la pressione che esercitavasi sul liquido. Si può in questa guisa produrre un'ebullizione senza fuoco, che dura per delle

ore intere. La variazione del punto di ebullizione è stata pure verificata con esperienze dirette sui punti più alti delle Alpi e dei Pirenei. L'acqua bollente non è adunque egualmente calda in tutti i luoghi della terra, e quindi non è egualmente propria agli usi domestici e alla preparazione degli alimenti. A Quito, per esempio, l'acqua bolle a 90°, e questa temperatura è troppo bassa per cuocere certe sostanze che possono esser cotte a 100°.

Quando si aumenta la pressione invece di diminuirla, si ritarda l'ebullizione, e si può ritardare indefinitamente aumentando indefinitamente la pressione. È in questa guisa che nell'apparecchio conosciuto coi nomi di *pentola* e di *digestore di Papin* si può inalzare l'acqua alle più alte temperature senza farla bollire. Quest'apparecchio consiste in un recipiente *ABCD* cilindrico, di bronzo (*Tav.* VI, *Fig.* 189) o di ferro, le cui pareti sono capaci di una grande resistenza. Esso è fornito superiormente di un margine sul quale si applica un coperchio *M* premuto da una vite, di cui la madrevite è praticata in una mascella di ferro che è applicata colle sue estremità al di sotto dei margini *A* e *B* del recipiente. Il coperchio è fornito di una valvola di sicurezza *a*, sulla quale pongansi dei pesi, in modo da produrre una pressione di quaranta o cinquanta atmosfere, a seconda della resistenza delle pareti. L'ebullizione è impossibile, perchè il vapore che si forma al di sopra del liquido esercita una pressione che è sempre bastante per impedirla. Ma quando si apre la valvola, il vapore acquoso si slancia con tale impeto, che forma un getto di 8 a 10 piedi di altezza. Il digestore fu inventato da Papin verso la metà del diciassettesimo secolo; esso allora servì ad un gran numero di curiose esperienze, sia per mostrare la potenza meccanica del vapore, sia per mostrare la potenza dissolvente dell'acqua mantenuta liquida a delle temperature superiori a 100°. Oggidì serve nei grandi spedali all'estrazione della gelatina dalle ossa. Se l'acqua non è ermeticamente rinchiusa in una caldaja, e se esiste qualche pertugio dal quale il vapore possa fuggire, il punto di ebullizione dipende allora dalla grandezza dell'apertura relativamente alla superficie

dell'acqua che riceve l'azione del fuoco. Ecco un quadro delle temperature approssimative che può prender l'acqua, in queste circostanze, sotto la pressione ordinaria.

Temperatura che prende l'acqua nella caldaja.	Rapporto fra la superficie dell'orifizio e la superficie dell'acqua che riceve l'azione del fuoco.
100°	$\frac{1}{1000}$ e al di sopra
105	$\frac{1}{5000}$ »
115	$\frac{1}{10000}$ »
138	$\frac{1}{30000}$ »

Quando un vaso, di una certa profondità, pieno di acqua è sottoposto colla sua parte inferiore all'azione di una sorgente calorifica, il liquido si scalda uniformemente fino alla temperatura della ebullizione, a motivo delle correnti che si producono per l'ascensione degli strati inferiori più caldi e più leggieri, e la discesa dei superiori più freddi e più pesanti, le quali repartiscono uniformemente la temperatura in tutta la massa. Nonostante l'ebullizione comincia a manifestarsi alla superficie, perchè il liquido della superficie non sopporta che la pressione dell'atmosfera, mentre gli strati inferiori sopportano anche il peso di tutti gli strati superiori. Da quell'istante la temperatura degli strati inferiori va aumentando fino ad un certo limite per ciascuno di essi; limite tanto più alto, quanto più profondo è lo strato. Così per esempio in una caldaja piena di acqua della profondità di 70 metri, gli strati del fondo sopportando una pressione di due atmosfere, si riscaldano fino alla temperatura dell'ebullizione dell'acqua sotto quella pressione, cioè a dire fino a 121°. Gli strati compresi fra i più superficiali che sono a 100°, e quelli del fondo a 121° hanno delle temperature comprese fra questi due limiti. Il liquido è allora in piena ebullizione in tutta la sua massa, ma i vapori che partono dal fondo e dai varj strati intermedj si dilatano nell'ascendere, a motivo della diminuita pressione, e si raffreddano nel traversare gli strati superiori, dimodochè escono dalla massa colla temperatura

di 100° sotto la pressione dell'atmosfera. Anche nei recipienti di qualche decimetro di altezza si produce un fenomeno simile prima che l'ebullizione cominci. Gli strati del fondo prendono alle pareti del vaso tanto calore da produrre del vapore; delle piccole bolle di vapore si formano e s' inalzano, ma traversando gli strati superiori ancor freddi si condensano subitamente. Da ciò nasce quel singolar rumore che precede di qualche poco l'ebullizione dei liquidi. Ciò può osservarsi facilmente nei palloni di vetro, giacchè vedonsi le bolle formarsi, inalzarsi alquanto, e quindi intieramente sparire. Si dice allora che il liquido *canta*, e che non tarderà a bollire.

2.° *Influenza delle sostanze sciolte nel liquido.* Il punto di ebullizione di un liquido non è cambiato dalla presenza di corpi estranei meccanicamente sospesi nella sua massa, come per esempio delle particelle di sabbia nell'acqua; ma è quasi sempre cambiato dalla presenza di corpi che vi si combinano chimicamente. In generale tutti i corpi solidi solubili nell'acqua, i liquidi che bollono ad una temperatura più alta dell'acqua stessa, ritardano il punto di ebullizione. Egli è per questa ragione che l'acqua di mare, i siroppi ec. hanno un punto di ebullizione assai più alto dell'acqua pura. Il vapore che si forma in questi casi conserva non di meno la temperatura di 100°. Se il liquido mescolato all' acqua bolle più presto di essa, il punto dell'ebullizione è abbassato, ed il vapore che si forma è un miscuglio dei vapori dei due liquidi.

3.° *Influenza della coesione del liquido e della natura del vaso.* È stato osservato che l'acqua bolle, di 1 grado a 1° e ½ più tardi in un vaso di vetro che in un vaso metallico, e nello stesso tempo l'ebullizione si fa a salti, che sono talvolta molto violenti. Altri liquidi presentano dei fenomeni analoghi, e questi salti o *sussulti*, sembrano tanto più violenti quanta più coesione presenta il liquido, e quanto maggiore è l'adesione di esso per la materia del vaso. Questi sussulti provengono da piccole esplosioni dovute ad una grande quantità di vapore che formasi a un tratto nel seno della massa liquida. Sovente basta un filo metallico, o qualche piccolo corpo solido introdotto nel liquido per rendere regolare l'ebullizione. Si vede allora il vapore formarsi intorno ai corpi introdotti.

Proprietà dei vapori.

Forza elastica dei vapori. Per dimostrare che i vapori sono dotati di forza elastica a guisa dei gas si fa uso di parecchi barometri che pescano tutti in un largo pozzetto *a b*, e retti sopra una stessa base *B* (*Tav.* VI, *Fig.* 190). Due traverse metalliche *mn*, *m' n'* riuniscono questo fascio di barometri ad una colonna *AB*. È unito alla colonna un regolo *pq*, diviso in centimetri, su cui scorre un canocchiale a micrometro, munito di un nonio onde avere le frazioni di millimetro. L'altezza della colonna barometrica è in tutti la stessa, e misura esattamente la pressione dell'atmosfera. Con una piccola pipetta ricurva s'introduce in ciascuno un liquido diverso, come per esempio nell'uno dell'acqua, in un altro dell'alcool, in un terzo dell'etere ec., ma se ne lascia uno intatto. I tre liquidi per la loro leggerezza, salgono rapidamente nel vuoto barometrico, ed all'istante la colonna del barometro si abbassa. In quello dove fu introdotto l'etere, l'abbassamento è circa della metà della colonna del barometro intatto; in quello ad alcool la colonna si abbassa di circa 15 millimetri; ed in quello ad acqua l'abbassamento è pure di parecchi millimetri. È inutile fare osservare che questi abbassamenti non dipendono dal peso delle colonne liquide introdotte, giacchè hanno una piccolissima altezza; mentre per abbassare la colonna di mercurio di un sol millimetro converrebbe che avessero già un'altezza considerevole. Adunque l'abbassamento dei barometri ad altro non deve attribuirsi che alla istantanea conversione in vapore dei liquidi in essi introdotti, appena giunti, in presenza del vuoto barometrico. Questo abbassamento è dovuto alla forza elastica o di espansione di cui sono dotati i vapori non appena formati. Essi agiscono adunque a guisa dei gas. Se in uno dei barometri si fosse introdotto una piccola quantità d'aria o di un altro gas qualunque, questo colla sua forza elastica avrebbe egualmente prodotto una depressione. La forza elastica di ciascuno dei vapori formatisi si dedurrà facilmente dalla differenza di altezza fra la colonna del barometro ordinario e quella del barometro su cui si è prodotto. Potrà così determinarsi la varia intensità di questa forza pei varj vapori, ad una stessa temperatura.

Legge di Mariotte sulle forze elastiche dei gas, applicata ai vapori. Abbiamo mostrato ad evidenza che i vapori sono dotati di forza elastica a guisa dei gas; dimostreremo ora in un modo più completo l'analogia che passa fra i gas ed i vapori, provando che la legge di Mariotte sulle forze elastiche dei gas si applica perfettamente anche ai vapori. Ciò si prova per mezzo del *barometro a lungo pozzetto* immaginato da Mariotte (*Tav.* VI, *Fig.* 191), il quale non è altro che un barometro costruito con un tubo lunghissimo e fornito di un pozzetto *e c n* molto profondo, entro cui può immergersi più o meno il tubo barometrico. Se s'introduce una piccola quantità di etere in questo barometro, sale questo liquido sulla sommità della colonna di mercurio, e si converte all'istante intieramente in vapore. L'abbassamento della colonna barometrica c'indica la forza elastica del vapore d'etere in quel momento. Se allora si solleva il barometro e si accresce in tal modo lo spazio che occupa il vapore, la sua densità diminuisce per conseguenza, e nello stesso tempo la sua forza elastica. Difatti si osserva che la colonna del mercurio è meno depressa di prima. Seguitando a sollevare il barometro e ad accrescere così i volumi occupati dal vapore, si veggono variare corrispondentemente le sue forze elastiche. Misurando i diversi spazj occupati dal vapore e le forze elastiche corrispondenti, si giunge a determinare che *le forze elastiche dei vapori*, come quelle dei gas, *variano in ragione inversa dei volumi, e sono proporzionali alle loro densità ed alle pressioni che soffrono.* Ma la legge di Mariotte non si verifica sui vapori a tutte le pressioni. Per quelle che vanno successivamente diminuendo essa verificasi costantemente, e non ha limite. Si può aumentare quanto si vuole lo spazio in cui è contenuto un vapore, questo non cesserà di espandersi, e la sua forza elastica non cesserà di diminuire nel rapporto stesso della sua densità, cioè a dire dell'accrescimento di volume, ma non così accadrà per le pressioni che anderanno successivamente aumentando. Lo spazio occupato dal vapore coll'accrescersi della pressione anderà è vero successivamente diminuendo, e quindi la densità e la forza elastica del medesimo anderanno proporzionalmente aumentando, ma non però in modo inde-

finito. L'accrescimento della forza elastica dei vapori colla pressione ha un limite costante per ciascuno di essi. Giunti a questo limite essi ritornano allo stato liquido, o in altri termini si *condensano.* È questo limite di resistenza ad esser liquefatti che chiamasi *Tensione massima dei vapori.*

Adunque i vapori non possono resistere a delle pressioni indefinitamente crescenti. Per ciascuno di essi v'è una pressione che lo fa tornare allo stato liquido. Anche questo fatto può verificarsi col barometro a lungo pozzetto di Mariotte. Se mentre il vuoto di questo istrumento è occupato da una certa quantità di vapor d'etere, s'immerge gradatamente il tubo barometrico nel pozzetto, non tarderà a comparire sulla sommità della colonna di mercurio uno strato di etere liquido. Il vapor d'etere non si riduce però tutto insieme in tale stato; ve ne riman sempre un poco allo stato aeriforme; e questa porzione è dotata del suo massimo di forza elastica o di tensione, per cui non appena se ne diminuisce il volume si vede che una porzione di esso passa immediatamente allo stato liquido. La forza elastica del vapor d'etere che rimane sopra lo strato liquido è dunque costante, per quanto si restringa lo spazio in cui esso è compreso: con tal diminuzione non giungeremo ad altro che ad accrescere lo strato liquido dell'etere, cioè a dire a condensare una maggior quantità di vapore. Ciò che si dice dell'etere può riferirsi a qualunque altro liquido; solamente le tensioni massime variano per ciascuno di essi, cioè a dire varia la pressione che produce la tensione massima del vapore di ciascuno di essi. Quando un dato spazio è occupato da una certa quantità di un qualche vapore al suo massimo di tensione, si dice che esso è *saturo* di questo vapore. In uno spazio saturo di vapore non si può aumentare la pressione senza produrre la condensazione di una porzione del vapore. Uno spazio è saturo di vapore, quando nel medesimo può conservarsi uno strato del liquido che ha prodotto il vapore.

Forze elastiche dei vapori alle diverse temperature. Per osservare la forza elastica dei vapori a differenti temperature, Dalton si serviva dello stesso barometro a lungo pozzetto, ma contornava il tubo nel quale formavasi il vapore con un cilin-

dro di vetro, che riposava su di un bagno a mercurio; questo cilindro era destinato a ricevere l'acqua che dovea riscaldarsi. Dalton riconobbe per mezzo di questo apparecchio che se nella camera barometrica non esisteva che del vapore senza liquido eccedente, ossia del vapore non al suo massimo di tensione, esso dilatavasi come un gas permanente. In questo caso per tutti i vapori v'ha uno stesso coefficiente di dilatazione, che è eguale a quello trovato pei gas. Un dato volume di vapore che non è al suo massimo di tensione, portato da 0° a 100°, aumenta nel rapporto di 1 a 1,375, conservando la stessa forza elastica. Se al vapore riscaldato non è dato aumentare di volume, la sua forza elastica cresce nel rapporto stesso col quale si dilaterebbe. Questa nuova analogia fra i vapori ed i gas, allorchè son riscaldati, non sussiste più se i primi sono presi al massimo di tensione, e se sussistono a contatto del liquido che li produce. In questo caso al crescere della temperatura si formano nuovi vapori, e la forza elastica di questi vapori cresce molto più rapidamente di quella dei gas permanenti nelle stesse circostanze. Così per esempio mentre da 0° a 100° la forza elastica dei gas aumenta nel rapporto di 1 a 1,375, la forza elastica del vapore acquoso al suo massimo di tensione aumenta nel rapporto di 1 a 150.

Equilibrio di tensione fra due spazi, l'uno caldo e l'altro freddo. Quando il vapore è contenuto in uno spazio saturo avente delle ineguali temperature, la sua definitiva tensione è sempre la tensione massima corrispondente alla più bassa temperatura. È infatti necessario che la tensione sia da per tutto la stessa, perchè se fosse ineguale il vapore sarebbe spinto dai punti in cui la tensione è grande verso quelli in cui è piccola, nel modo stesso col quale l'aria si precipita dai punti in cui è maggiormente compressa verso quelli dove è meno, finchè non vi sia da per tutto la stessa pressione. Perciò il vapore affluisce verso i punti in cui la temperatura è bassa; ma poichè la saturazione già vi esiste, esso passa allo stato liquido a misura che vi giunge; tutto il liquido adunque si trasporta nello spazio freddo, e quando vi sarà accumulato, la tensione sarà da per tutto la stessa ed uguale ovunque alla tensione massima propria alla temperatura di

questo stesso liquido. Questo fenomeno è reso sensibile dalla seguente esperienza (*Tav.* VI, *Fig.* 193): la palla *a* del tubo *bc* contiene dell'etere solforico, che si fa assai vivamente bollire affinchè il vapore scacci tutta l'aria contenuta nel tubo; allora s'immerge l'estremità aperta del tubo in un piccolo recipiente *e* pieno di mercurio: il raffreddamento diminuisce la tensione del vapore ed il mercurio s'inalza. L'altezza della colonna sollevata, sottratta dall'altezza del barometro, dà la forza elastica del vapor d'etere alla temperatura dell'aria nel tempo dell'osservazione. Allorquando l'equilibrio è bene stabilito, si porta del ghiaccio pesto intorno alla palla *a*; il mercurio tosto sale nel tubo, e ciò prova che la tensione del vapore diminuisce, ed essa diminuisce perchè l'eccesso del vapore del tubo si precipita nella palla per condensarvisi.

Tensioni massime del vapore acquoso alle diverse temperature comprese tra 0° *e* 100°. A motivo delle importanti applicazioni che si son tratte dalla forza elastica del vapore dell'acqua, i fisici hanno più specialmente rivolte le loro ricerche su di esso, tralasciando gli altri vapori, i quali avrebbero offerto dei resultati atti solo ad appagare la curiosità degli sperimentatori. Per determinare la massima tensione del vapore acquoso alle varie temperature comprese fra 0° e 100° si fa uso di un apparecchio consistente in due barometri a mercurio *a* e *b* (*Tav.* VI, *Fig.* 192), che pescano nel mercurio del pozzetto. S'empie questo cilindro di acqua, la quale per la sua leggerezza rimane al di sopra del mercurio del pozzetto. Un termometro *t* a bulbo cilindrico pesca in quest'acqua, e ne indica la temperatura. Può questa farsi variare, scaldando con una fiamma a spirito il pozzetto *o*, che è costruito con rame o con ferro, ed ha la forma di una cassula. In uno dei due barometri s'introduce una certa quantità d'acqua, la quale all'istante è *in parte* convertita in vapore. S'incomincia l'esperienza col versare acqua a zero nel cilindro che circonda i barometri, e si continua riscaldandola successivamente. Ad ogni temperatura si nota la differenza fra l'altezza dei due barometri; e questa differenza ci esprime la forza elastica massima del vapore acqueo alle temperature comprese fra zero e cento gradi. Una sola condizione è essenziale al resultato

di queste esperienze, cioè che a tutte le temperature vi sia sempre una colonna liquida a contatto del vapore. Il quadro seguente contiene le forze elastiche del vapore acqueo a diverse temperature comprese fra 0° e 100°.

Tensioni massime del vapore acquoso da 0° *a* 100° C[i], *e pressioni corrispondenti, sopra un centimetro quadro.*

Gradi del termometro centigrado	Tensione del vapore in millimetri	Pressione sopra un centimetro quadro
0	5^{mm},059	0,0018 chil.
5	6,947	0,0050
10	9,475	0,0129
20	17,314	0,0235
30	30,643	0,0418
40	52,998	0,0710
50	88,743	0,1205
60	144,660	0,1965
70	229,070	0,3112
80	352,080	0,4783
90	535,280	0,7136
100	760,000	1,0325

Tensioni dei vapori, ed in particolare del vapore acquoso alle temperature inferiori a zero. — Gay-Lussac ha osservato che i vapori sono dotati di una certa tensione anche a temperature inferiori a zero. Per valutare queste tensioni egli si è servito dell'apparecchio rappresentato dalla Figura 194. La parte superiore del tubo barometrico *ABC* si ricurva e immergesi in un vaso contenente un miscuglio frigorifico. Introducendo un liquido nella camera barometrica, per i principj sopra esposti, la tensione del vapore che si sviluppa è esattamente la stessa, che se questa camera si trovasse totalmente sottoposta alla temperatura del miscuglio frigorifico.

Resulta dalle esperienze di Gay-Lussac che il ghiaccio emana dei vapori, i quali sono dotati di una certa tensione che varia al variare della temperatura. Ecco infatti i numeri che esprimono in millimetri la tensione del vapore acquoso da — 20 fino a zero.

Gradi del termometro centigrado	Tensione
— 20	1,mm333
— 15	1,879
— 10	2,631
— 5	3,660
— 0	5,059

Forze elastiche dei vapori alle temperature di ebullizione dei liquidi da cui provengono. — Nelle esperienze destinate a mostrare la tensione massima del vapore acquoso alle diverse temperature, interessa molto l'osservare che giunti alla temperatura di 100°, a quella cioè dell'ebullizione dell'acqua, la colonna di mercurio del barometro in cui è il vapore acqueo è intieramente depressa fino al livello del pozzetto; il che ci dimostra che la tensione massima del vapore acquoso alla temperatura dell'ebullizione è eguale alla pressione atmosferica. Se invece di acqua si fosse adoprato qualunque altro liquido, come per esempio alcool o etere, si sarebbe osservato lo stesso fenomeno, cioè a dire che giunti alla temperatura della ebullizione di questi liquidi, la colonna di mercurio del barometro contenente i loro vapori si sarebbe depressa interamente fino al livello del pozzetto. Egli è dunque evidente che la tensione massima dei vapori è costantemente eguale alla pressione atmosferica, allorquando son giunti alla temperatura alla quale bollono i liquidi da cui sono prodotti.

Un liquido adunque bolle nell'aria allorquando il vapore che si forma nella sua massa è dotato di una forza elastica eguale alla pressione atmosferica. Se la massa liquida che bolle è molto profonda, le bolle di vapore che si formano negli strati inferiori, oltre la pressione atmosferica hanno anche da vincere la pressione degli strati liquidi superiori, e quindi il liquido bolle ad una temperatura un poco superiore a quella a cui la massima tensione del suo vapore fa equilibrio alla pressione atmosferica. Così se si volesse far bollire una colonna d'acqua alta 32 piedi, siccome gli strati inferiori sarebbero sottoposti ad una pressione di due atmosfere, non potrebbero bollire che a quella temperatura alla quale il vapore acquoso colla sua massima tensione fa equilibrio alla pressione di due atmosfere.

È per la stessa ragione che sull'alto delle montagne, o in generale a misura che ci solleviamo nell'atmosfera i liquidi bollono a delle temperature inferiori a quelle alle quali bollono al livello del mare. A misura che c'inalziamo la pressione atmosferica diminuisce, ed i vapori che formansi acquistano delle forze elastiche capaci di farvi equilibrio a temperature inferiori. Perciò per ogni liquido vi sono tanti punti di ebullizione quante pressioni possiamo concepire. Si è visto che l'acqua è capace di bollire nel vuoto alla temperatura di 0°. Basta per ottenere questo resultato che la forza elastica dell'aria si riduca al peso di una colonna di mercurio alta 5^{mm}, perchè è questa la tensione del vapore acqueo a 0°.

Abbiamo anche visto che nel digestore di Papin si può scaldare l'acqua molto al di sopra di 100° senza farla bollire. Ciò dipende perchè il vapore che si forma a 100°, non potendosi svolgere, e rimanendo invece sopra il liquido, esercita colla sua forza elastica una tal pressione da impedire l'ulteriore svolgimento di vapore; ed il liquido non potendo bollire continua ad assorbire calore, e la sua temperatura va successivamente crescendo. Questa elevazione di temperatura, senza che il liquido bolla, non è però illimitata. Vedremo tra breve che tutti i liquidi ad una data temperatura sono capaci di convertirsi in vapore occupando degli spazi poco più grandi di quelli che occupavano allo stato liquido, e vedremo ancora che in queste circostanze la loro tensione è immensa.

Tensioni massime del vapore acqueo a temperature superiori a 100°. Per determinare le forze elastiche del vapore dell'acqua, o di quello di altri liquidi, al di sopra della temperatura della loro ebullizione, è evidente che non può adoprarsi l'apparecchio che serve alla determinazione delle tensioni dei vapori alle temperature inferiori al punto di loro ebullizione. Si ricorre in questo caso al tubo ricurvo *ab* (*Tav.* VI, *Fig.* 194), in cui il braccio più corto è chiuso in *b*, ed è contenuto in un largo tubo *c* di vetro che vi è strettamente lutato. In questo tubo *ab* s'introduce quel liquido che si vuol convertire in vapore, e si tiene convenientemente inclinato perchè vada a raccogliersi nella sommità *b* del tubo. Si versa olio nel tubo *c*, e per mezzo di una lampada o di un fornello si giunge a riscaldare questo ba-

gno a olio oltre 100°. Da prima s'introduce un poco di mercurio nel tubo, e a mano a mano che la temperatura del bagno s'inalza si vede che è necessario versare nuovo mercurio nel tubo perchè non esca il vapore formato. La colonna del mercurio che rimane sollevata al di sopra del livello del mercurio nel braccio chiuso, a cui deve aggiungersi la colonna di un barometro ordinario osservato nello stesso tempo, misura la tensione massima del vapore formato a quella data temperatura che viene indicata da un termometro immerso nel bagno a olio.

Dulong e Arago, ai quali devesi un esteso lavoro sopra questo soggetto, hanno adoprato un apparecchio che non differisce nel suo principio da quello ora descritto. La figura 196 ne mostra una sezione verticale. *C* è una caldaja a grosse pareti di rame rosso, della capacità di 80 litri circa; *f* è il forno sul quale è posta, *g* è la gratella di questo forno, e *t* il canale dal quale sorte il fumo. Due canne da fucile *e* ed *r* saldate al coperchio, chiuse in basso ed aperte in alto, piene di mercurio servono a indicare le temperature dell'acqua e del vapore. Nel mercurio che contengono stanno permanentemente dei termometri, le cui aste curvate orizzontalmente all'uscire dalle canne sono mantenute ad una temperatura costante per mezzo di una corrente d'acqua. Il vapore formatosi al disopra dell'acqua, ad una tempera tura nota, s'inalza pel piccolo tubo verticale *bb'* per andare ad esercitare la sua pressione in *u* sulla sommità della colonna d'acqua che riempie il tubo inclinato *udh* e tutta la parte del vaso manometrico *vv'* di ghisa. Questa pressione si trasmette sulla superficie *ss'* del mercurio contenuto nel vaso *vv'*, ed infine all'aria del manometro *mm'*. Siccome si conosce la pressione corrispondente ad una data situazione della sommità della colonna di mercurio nel manometro, se ne deduce la forza elastica del vapore. Il tubo di vetro *nn'* comunicante colla parte superiore e con la inferiore del recipiente *vv'* serve a riconoscere il livello del mercurio in questo recipiente. Con questo apparecchio Arago e Dulong determinarono direttamente le tensioni del vapor d'acqua fino alla temperatura di 224° del termometro centigrado, ed osservarono che a questa temperatura la forza elastica del vapore acqueo corrispon-

deva a 24 atmosfere, ed era quindi capace di fare equilibrio ad una colonna di mercurio a 0°, alta metri 18,24. Del resto ecco il quadro delle forze elastiche del vapore acqueo a delle temperature comprese fra 100° e 224°.

Temperature in gradi centigradi	Elasticità del vapore, prendendo per unità la pressione atmosferica	Colonna di Mercurio a 0°, che misura la elasticità	Pressione sopra un centimetro quadro, in chilogrammi
100	1	0,760	1,033
121,4	2	1,520	2,066
135,1	3	2,280	3,099
145,4	4	3,040	4,132
153,0	5	3,800	5,681
160,2	6	4,560	6,198
166,5	7	5,320	7,231
172,1	8	6,080	8,264
181,6	10	7,60	10,330
200,4	15	11,40	15,495
214,7	20	15,20	20,660
224,2	24	18,24	24,792

Resulta evidentemente da questa tavola, che le tensioni del vapore acqueo crescono in una proporzione molto più rapida delle temperature. Il rapporto fra 100° e 200° è di 1 a 15.

Dalton, celebre fisico inglese, a cui debbonsi la maggior parte delle nozioni che si hanno sui vapori, avea creduto di potere ammettere un rapporto assai semplice fra le temperature e le tensioni corrispondenti dei vapori dei diversi liquidi. Questo rapporto, generalmente conosciuto sotto il nome di *Legge di Dalton*, è il seguente: le forze elastiche dei vapori dei varj liquidi sono per tutti le stesse a temperature distanti di un egual numero di gradi dal punto di ebullizione di ciascuno di essi. Così l'alcool che bolle a 78 avrebbe a 113° la stessa tensione che ha il vapor d'acqua a 135°. Dalton avea creduto di poter dedurre questa legge dal fatto che alla temperatura della ebullizione il vapore di tutti i liquidi ha la stessa tensione. Era adunque naturale che allontanandosi di uno stesso numero di gradi al di sopra o al di sotto di questo punto, le tensioni dei vapori non cessassero di conservarsi eguali fra loro.

Ma resulta dalle osservazioni di varj fisici che questa legge non è assolutamente rigorosa; e a delle distanze considerevoli dai punti di ebullizione comincia ad allontanarsi sensibilmente dal vero.

Densità dei vapori. Si distingue col nome di *densità assoluta* del vapore di un certo liquido il rapporto dei pesi di due volumi eguali di vapore e d'aria alla stessa temperatura ed alla stessa pressione. S'intende poi per densità di un vapore ad una certa temperatura ed una certa pressione il rapporto fra il peso di un certo volume di questo vapore a quella temperatura e a quella pressione, ed il peso di un egual volume d'aria a 0°, e sotto la pressione di $0^m,76$. Tali rapporti sono sempre un numero costante per ogni vapore, ma diversissimo pei diversi vapori.

Gay-Lussac è stato il primo fisico che abbia insegnato a determinare la densità dei vapori. Il suo processo consiste nel determinare il volume che a una data temperatura occupa ridotto in vapore un determinato peso di liquido. A quest'uopo egli adopra una campana di vetro *AB* (*Tav.* VI, *Fig.* 197), divisa in parti di egual capacità, e di cui il volume è esattamente conosciuto. Empita questa campana di mercurio, si rovescia in un pozzetto costituito da una caldaja di ghisa *MN* piena di mercurio. Un largo tubo di vetro *CD* circonda questa campana, riposando sul bagno a mercurio, e serve a contenere dell'acqua o dell'olio che debbono esser riscaldati per mezzo di un fornello sottoposto. Il liquido che deve convertirsi in vapore nell'interno della suddetta campana piena di mercurio vi s'introduce contenuto in piccoli recipienti *m* di vetro terminati da un piccolo tubo corto e capillare chiuso al cannello. È facile di determinare il peso del liquido contenuto in queste piccole ampolle; basta prima pesar queste vuote e quindi piene; la differenza dei pesi ci dà il peso del liquido. Allorchè il bagno è riscaldato, il liquido contenuto nel recipiente di vetro si dilata e lo rompe; allora il vapore si forma ed il mercurio si abbassa. Si deve inalzare la temperatura del bagno fintantochè il liquido non è totalmente convertito in vapore. A questo punto si misura il volume che occupa il vapore, e correggendolo della dilatazione del vetro, si ha il volume reale del vapore alla tem-

peratura dell'esperienza, sotto una pressione eguale a quella dell'aria, diminuita dell'altezza del mercurio della campana al disopra del livello del bagno. Questa pressione ci dà la misura della forza elastica del vapore. Allora per mezzo della legge di Mariotte si deduce quale sarebbe il volume di questo vapore ridotto alla pressione di $0^m,76$. Poscia si riduce alla temperatura di 0°. Si deduce da ciò qual sarebbe il peso di un litro di tal vapore; e stabilendo un rapporto fra questo peso e quello noto di un litro d'aria, si ha la densità del vapore medesimo. Gay-Lussac esperimentando con questo metodo trovò che un grammo di acqua, il cui volume è di un centimetro cubo, convertito in vapore alla temperatura di 100° e sotto la pressione di $0^m,76$, occupava un volume di 1696 centimetri cubici, cioè a dire un volume 1696 volte maggiore. La densità del vapore acqueo a 100° è a quella dell'acqua alla stessa temperatura come 1 a 1680. Da ciò infine si deduce che il peso del vapor di acqua a 100° e sotto la pressione di $0^m,76$, sta al peso di un egual volume di aria alla stessa temperatura ed alla stessa pressione come 1,06588 sta a 1,69640, o circa come 10 a 16 o come 5 ad 8. Perciò $\frac{5}{8}$ è la densità assoluta del vapor d'acqua. Con questi dati è facile di trovare la densità d' del vapore acqueo ad una temperatura qualunque t, e sotto qualsivoglia pressione p. Rappresentando con d la densità di questo vapore a 100° e sotto la pressione di 760 millimetri, già da noi determinata, e con a il coefficiente di dilatazione dei gas e dei vapori, che sappiamo essere 0,00375, si ha

$$d' = \frac{d\,p\,(1 + 100^\circ\,a)}{760\,(1 + a\,t)}$$

Questa formola si ricava dalle due seguenti proporzioni

$$1.^a\ d : d' :: 760 : p, \text{ da cui } d' = \frac{dp}{760}$$

$$2.^a\ d : d' :: 1 + at : 1 + 100\,a, \text{ da cui}$$

$$d' = \frac{d\,(1 + 100\,a)}{1 + a\,t}$$

L'unità ci esprime il volume del vapor d'acqua alla temperatura di 0°. Perciò $1 + 100\,a$ è il volume del vapor d'acqua alla temperatura di 100° avente la densità d, e $1 + at$ è il volume del vapor d'acqua alla temperatura di t. Ora, siccome

le densità sono in ragione inversa dei volumi si ha il secondo rapporto.

Il processo di Gay-Lussac per la determinazione della densità dei vapori riesce perfettamente quando non si ha bisogno d'inalzare la temperatura al di sopra di 100°, ma non così quando si richiedono temperature maggiori. Allora converrebbe riscaldare il vapore per mezzo di un bagno ad olio; e per far concepire a questo liquido un alto grado di calore converrebbe spingere molto innanzi il riscaldamento, in guisa che riscaldandosi anche il mercurio del pozzetto, la tensione del vapor mercuriale, assai considerevole alle temperature superiori a 100°, si aggiungerebbe a quella del vapore, producendo così una causa d'errore non trascurabile. Inoltre il medesimo processo non potrebbe applicarsi alla determinazione della densità del vapore di quei liquidi i quali spiegano azion chimica sul mercurio. Il processo semplicissimo di Dumas si applica invece a qualunque temperatura, purchè non tanto alta da ammollire i recipienti di vetro in cui si riscaldano i vapori, ed a quei corpi ancora che agiscono chimicamente sul mercurio. Questo metodo consiste nel determinare direttamente il peso di un volume noto di vapore sotto la pressione dell'atmosfera e ad una certa temperatura. Il rapporto tra questo peso e quello di uno stesso volume di aria, alla stessa temperatura e sotto la stessa pressione ci dà la densità cercata. Ecco il modo di operare. Si prende un pallone di vetro della capacità di 250 a 500 centimetri cubici, ben pulito ed asciutto, se ne rammollisce il collo presso la pancia per mezzo della lampada da smaltatori, e quindi si tira in un lungo tubo capillare che s'incurva bruscamente in modo che faccia quasi angolo retto colla primitiva direzione. (*Tav.* VI, *Fig.* 198). Si rompe il tubo capillare verso la sua cima onde presenti un orifizio. Il pallone freddo, potendo esser considerato come non contenente che dell'aria secca, vien pesato esattamente, e si nota la temperatura dell'aria e l'altezza del barometro. Allora si scalda leggermente il pallone e se ne immerge il collo affilato nella sostanza naturalmente liquida o liquefatta per mezzo del calore, di cui si vuol determinare la densità allo stato di vapore: col raffreddamento la sostanza penetra nel pallone, e si arresta l'assorbimento

quando se ne sono introdotti alcuni grani. Allora si dispone il pallone fra due cerchi di un piccolo apparecchio di ottone, che ha per iscopo di tenerlo fisso (*Tav.* VI, *Fig.* 199), e s'immerge nel bagno in cui l'esperienza deve terminare. S'impiega l'acqua se la sostanza bolle al di sotto di 80°, l'olio se bolle al di sotto di 200°, e infine la lega fusibile di Darcet se il suo punto di ebullizione è più alto. Un termometro immerso nel bagno ne indica la temperatura. Quando la temperatura del bagno ha raggiunta la temperatura dell'ebullizione della sostanza, sortono dall'orifizio capillare del pallone dei getti considerevoli di vapore, i quali cessano quando il pallone non contiene più eccesso di sostanza e non altro che del vapore sotto la pressione atmosferica ed alla temperatura del bagno. Si cerca di mantenere il bagno per un certo tempo ad un punto fisso di temperatura, onde esser sicuri che la temperatura del bagno e quella del vapore sieno identiche. Allora si chiude il collo del pallone per mezzo del cannello, e si nota la temperatura del bagno e la pressione atmosferica. Si toglie il pallone dal bagno, si asciuga e si pesa di nuovo, determinando l'aumento o la perdita di peso che ha subito. Si nota la differenza dei pesi. Per determinare la capacità del pallone, se ne immerge il collo affilato nel mercurio, e se ne rompe la punta al di sotto di questo liquido. Tosto il mercurio si precipita nel pallone e lo riempie intieramente, poichè tutta l'aria è stata scacciata dal vapore; e per conoscerne il volume si versa in una provetta di cristallo divisa in centimetri cubici.

Da questi diversi dati è facile giungere alla cognizione del peso e del volume del vapore, da cui se ne deduce la densità. Il peso del vapore si compone dell'eccesso del peso del pallone pieno di vapore sul peso del pallone pieno di aria, più il peso dell'aria che lo riempiva nella prima pesata e che deve esser calcolato. Conoscendo il volume del pallone, la temperatura dell'aria nel momento della pesata e la sua pressione, si riduce questo volume d'aria a 0° ed alla pressione di 0,760; e questo volume così corretto è convertito in peso per mezzo del peso conosciuto del litro in queste circostanze. Questo peso aggiunto all'eccesso osservato dà il peso del vapore. La determinazione del volume del vapore esige qualche considerazione di più.

Infatti, poichè il pallone si è dilatato, bisogna cercare qual volume ha acquistato alla temperatura alla quale si è portato il vapore; lo che è facile, conoscendo la dilatazione cubica del vetro per ogni grado termometrico. Avendo in questa guisa il vero volume del vapore alla temperatura ed alla pressione sotto le quali il pallone è stato chiuso, si riduce facilmente a 0° ed a 0°,76. Ottenuto così il peso ed il volume del vapore, se ne deduce il peso del litro e quindi la densità del vapore rapporto all'aria.

Nel quadro seguente sono indicate le densità dei vapori di varj liquidi, determinate coi processi ora descritti, e presa per unità la densità dell'aria.

Nomi dei Liquidi	Densità dei vapori	Punti di ebullizione
Acqua	0,625	100°
Alcool	1,613	78°
Etere solforico	2,586	36°
Essenza di Trementina.	5,013	157°
Mercurio	6,976	350°

Abbiamo veduto come per mezzo della formola

$$d' = d \frac{p}{760} \frac{(1 \times 100^{\circ} a)}{(1 \times at)}$$

si possa determinare la densità del vapore acquoso a qualsivoglia temperatura e sotto qualsiasi pressione. Per mezzo della medesima possiamo determinare la densità del vapore stesso al suo massimo di tensione, alle diverse temperature. Conoscendo il valore di t, si determina, per mezzo delle tavole da noi sopra riportate, la tensione massima corrispondente del vapore, ossia il valore di p, e si risolve l'equazione. Facendo questo calcolo per delle temperature crescenti, pel vapore acquoso non solo ma per altri vapori eziandio, si osserva che le densità dei vapori crescono rapidamente colle temperature, e ad un certo grado di calore questi vapori hanno una densità che non è molto inferiore a quella del liquido da cui sono formati. Un'esperienza curiosa di Cagnard de la Tour rende

manifesta questa conseguenza. Introdusse egli in un tubo di vetro a grosse pareti una quantità d'acqua che aveva circa $\frac{1}{4}$ del volume interno del tubo, e poscia chiuse il tubo. Esposto allora ad una temperatura gradatamente crescente, vide ad un certo punto sparire affatto l'acqua, e la vide ricomparire appena era di poco raffreddato. Ciò significava che il tubo era intieramente pieno di vapore, e che perciò la densità di questo era ridotta ad un quarto di quella dell'acqua. Ciò accadeva ad una temperatura poco diversa da quella della fusione dello zinco. È adunque presumibile che ad una temperatura alquanto più alta, la densità del vapor d'acqua al suo massimo di tensione non sia molto diversa da quella dell'acqua liquida. Ma queste ricerche sono pericolose, attesa l'imménsa tensione del vapore a quelle altissime temperature. Cagnard de la Tour ripetè l'esperienza fatta sull'acqua anche, su di altri liquidi, come l'alcool, l'etere ed il solfuro di carbonio, determinando le temperature in cui questi liquidi si convertivano intieramente in vapori in spazj chiusi di una determinata capacità, e le tensioni di questi vapori a quelle temperature, ed osservò che l'alcool a 159° occupa col suo vapore uno spazio triplo che allo stato liquido, ed ha allora una tensione di 119 atmosfere; l'etere a 200° occupa uno spazio doppio, ed ha una forza elastica di 37 atmosfere.

Condensazione dei vapori. Se sopra uno spazio saturo di vapore e quindi al massimo di tensione si esercita una pressione, o se ne abbassa la temperatura, una porzione del vapore si fa immediatamente liquida. Se lo spazio non è saturo, il vapore si lascia comprimere e raffreddare a guisa di un gas, e per la compressione aumenta di forza elastica e di densità finchè non giunge al massimo di tensione; allora la tensione e la densità non crescono più, e si fa a mano a mano liquida quella porzione di vapore che satura lo spazio che si va togliendo. Il raffreddamento produce anch'esso la liquefazione dei vapori, perchè quanto più alta è la temperatura di un dato spazio, tanto più grande è la quantità di vapore che lo satura; per cui abbassando la temperatura la quantità di vapore capace di saturare quel dato spazio va continuamente diminuendo, e l'eccesso di vapore è costretto a ritornare allo stato liquido.

Identità dei gas e dei vapori. L'identità perfetta fra i gas ed i vapori che non sono al massimo di tensione aveva da lungo tempo fatto supporre che i gas così detti *permanenti* non fossero altro che vapori, i quali alle ordinarie temperature fossero molto lontani dal massimo di tensione. Le esperienze di Davy e Faraday confermarono queste supposizioni, mostrando che un gran numero di gas, fino allora creduti permanenti potevansi ridurre allo stato liquido mediante una forte pressione. Un considerevole raffreddamento coadiuva grandemente l'effetto della pressione. Già abbiamo descritti a pagina 184 gli apparecchi più usati per questo genere di esperienze, ed a pagina 186 abbiamo indicate le pressioni e le temperature a cui si liquefanno varj de' principali gas coercibili.

Calorico latente dei vapori. Non accade mai trasformazione di un liquido in vapore senza che una certa quantità di calorico sia resa latente. Noi abbiamo già veduto accader ciò nella ebullizione; nel qual fenomeno la temperatura del liquido che bolle rimane stazionaria qualunque sia la quantità di calore che si aggiunge al liquido stesso. Quando parleremo della evaporazione vedremo che anche in questo caso del calorico è reso latente, giacchè potremo osservare che non v'ha evaporazione senza raffreddamento, cioè a dire senza che il vapore sottragga calore al liquido stesso da cui proviene ed ai corpi coi quali questo è a contatto. Per determinare il calorico latente del vapore acqueo formato a 100° e sotto la pressione ordinaria dell'atmosfera, conviene raccogliere una certa quantità di questo vapore nell'acqua ad una temperatura più bassa. Si prende perciò una storta di vetro, in cui si pone l'acqua che deve bollire: il collo della storta va a pescare in un recipiente pieno di acqua fredda ed in cui è un termometro. Conviene evitare la condensazione del vapore nel collo della storta, il che si fa tenendolo caldo. Per impedire che il recipiente riscaldato dal vapore, e che acquista così una temperatura più alta di quella dell'aria, perda del calore, si comincia l'esperienza prendendo acqua che sia più fredda dell'aria di quanto all'incirca vien poi ad esser

più calda quando l'esperienza è finita. In questa guisa, durante la prima metà dell'esperienza, il vaso è riscaldato dall'aria di quanto è raffreddato nell'altra metà, di modo che l'esperimento succede come se il vaso non si raffreddasse. Dopo avere osservato queste cautele, si determina di quanto è cresciuto il peso del liquido nel recipiente e di quanto la sua temperatura si è inalzata. L'acqua si è riscaldata per due cause: prima pel calore comunicatole dal vapore dotato della temperatura di 100°, poi pel calore latente del vapore, che si è reso libero nel passaggio di questo allo stato liquido. È facile calcolare col principio dei mescugli la temperatura che deve aver preso il liquido in grazia dei 100 gradi di calore del vapore condensatovi. L'eccesso della temperatura che ha preso realmente il liquido, su quella così calcolata, è dovuto al calorico latente del vapore; e perciò rappresenta la quantità di calorico che si ricerca va.

Un apparecchio per la determinazione del calorico latente del vapore acquoso assai migliore di quello descritto è il seguente (*Tav.* VII, *Fig.* 200). *A* è il recipiente che somministra il vapore, *b* il vaso che lo riceve, *c* un diaframma composto di tre lamine levigatissime di metallo, separate da uno strato d'aria, destinato a impedire la comunicazione del calore di *A* in *b*. Il vaso *b*, di sottil lamina di rame, contiene circa un litro d'acqua; è fornito di un serpentino nel quale giunge il vapore e vi si condensa; l'acqua della condensazione cade in un piccolo serbatojo che comunica coll'aria esterna mediante un tubo verticale *a*, affinchè l'ebullizione si produca sotto la pressione atmosferica. Un termometro *t* dà la temperatura dell'acqua che circonda il serpentino, e per mezzo di un agitatore si mescola incessantemente onde la temperatura sia eguale da per tutto. L'aumento di peso del vaso *b* ci dà il peso del vapore che si condensa, e dall'inalzamento del termometro si valuta il calore che svolge (1). È necessario che il vapore

(1) Sia *M* il peso del vapore condensato, la cui temperatura al momento che entra nel serpentino è di 100° - chiamisi x il suo calorico latente. Si rappresenti con m il peso dell'acqua in cui è immerso il ser-

non trascini dell'acqua allo stato liquido; ed è per questo che il tubo destinato a portare il vapore nel serpentino è fornito di un robinetto r a due sgorghi. Aperto in un senso, dirige il vapore nel tubo di sgorgo e, che comunica coll'aria esterna; girato di un quarto di giro, lo conduce al serpentino. Si tiene nella prima posizione finchè l'ebullizione non è bene stabilita ed il robinetto non è ben caldo. Allora gli si dà la seconda, e l'osservazione comincia; al termine di essa si riconduce alla prima.

È stato osservato che il calore latente ceduto da un dato peso di acqua in vapore è tale da inalzare la temperatura di un egual peso di acqua da 0° a 531°, 26, vale a dire che 531°, 26 è il calorico latente del vapore dell'acqua bollente. Secondo Dulong il calorico latente del vapore acqueo sarebbe rappresentato da 543° invece che da 531°. Non è anche stato determinato se il calorico latente dei vapori varia al variare delle temperature a cui il vapore si è formato, o in altri termini se varia al variare delle forze elastiche e delle densità del vapore. Watt e Clement Desormes ammettevano che il calorico latente del vapore acqueo fosse costante ad ogni temperatura, e conseguentemente qualunque fosse la sua forza elastica.

Miscuglio dei vapori coi gas. Per osservare i fenomeni presentati dal miscuglio dei vapori coi gas, Dalton si servì di un pallone di vetro M (*Tav.* VII, *Fig.* 201), in cui si può fare il vuoto, ed introdurre per mezzo del robinetto n un gas qualunque perfettamente asciutto. Il barometro abc misura la forza elastica del gas che è nel pallone, ed è per mezzo del robinetto a goccia p che s' introduce in esso il liquido che si vuol ridurre in vapore. Dalton trovò il primo, esperimentando con questo ap-

pentino, con t la sua temperatura, e con α la temperatura che avrà acquistato al termine dell'esperimento. La quantità di calorico sensibile ceduta dal vapore dell'acqua bollente è eguale ad $M(100-t)$; e quella del calorico latente sviluppato è eguale ad Mx. D'altronde il calorico assorbito dall'acqua fredda è eguale ad $m(\alpha-t)$. Perciò si ha:
$$Mx + M(100-t) = m(\alpha - t),$$ da cui si ricava
$$x = \frac{m(\alpha-t) - M(100-t)}{M}$$

parecchio, che i vapori si formavano in uno spazio pieno di aria come in uno spazio vuoto, e che nei due casi la differenza si riduceva al tempo maggiore impiegato nel primo caso alla formazione del vapore. Gay-Lussac verificò questa legge col seguente apparecchio. Consiste questo in un cilindro di vetro *AB* diviso in parti di egual capacità (*Tav.* VII, *Fig.* 202) e munito alle sue due estremità di due robinetti di ferro *R* e *R'*; la parte inferiore di questo tubo comunica con un tubo laterale verticale *CD* di un diametro molto più piccolo ed aperto alla sua sommità. Si riscalda l'apparecchio a fine di disseccarlo e si riempie in totalità il cilindro *AB* di mercurio recentemente bollito, versandolo dalla parte superiore: il mercurio sale nel tubo *CD* e vi si mantiene allo stesso livello che nel cilindro. Allora si avvita sul robinetto *R* un pallone pieno di gas perfettamente disseccato sul quale vuolsi operare, e si aprono i robinetti *R* ed *R'*, ed il robinetto del pallone. Una certa quantità di mercurio scola dal robinetto inferiore, ed il gas s'introduce nel cilindro *AB*; quando ve ne è entrata una quantità sufficiente si chiudono i robinetti *R* ed *R'*. Il gas introdotto, essendo dilatato, il livello del mercurio è più basso nel tubo *CD* che nel tubo *AB*. Per sottoporre il gas alla pressione dell'atmosfera, si versa del mercurio dal piccolo tubo finchè il livello del mercurio nei due tubi sia alla stessa altezza; il gas è allora sottoposto ad una pressione misurata dall'altezza del mercurio nel barometro. Per introdurre nel gas il liquido che deve evaporarvisi, si pone sul robinetto *R* un robinetto *R''*, la chiave del quale non è forata da parte a parte, ma contiene solamente una piccola cavità; si versa del liquido nel piccolo imbuto che termina il robinetto, e girando la chiave s' introduce ogni volta un piccol volume di liquido senza mettere il gas in comunicazione coll'aria. Quando si è introdotta una certa quantità di liquido, il mercurio discende nel tubo *AB* al di sotto del suo livello nel tubo *CD*. Per esempio, impiegando l'etere l'abbassamento è di circa 38 centimetri. Si è sicuri che lo spazio di aria è saturo di vapori allorquando seguitando ad aggiungere il liquido, il volume del gas rimane stazionario. Allora s' introduce pel tubo *CD*

tanto mercurio da obbligare il gas saturo di vapori a riprendere il volume primitivo del gas secco. Si vede allora il mercurio rimanere nel tubo *CD* più alto di prima, ed è certo che questo eccesso di pressione interna è dovuto alla sola forza elastica di quel vapore che vi si è sviluppato e che è al massimo di tensione. Ora è stato osservato che questa tensione è la stessa di quella del vapore nel vuoto alla stessa temperatura. Questo resultato è generale per ogni vapore mescolato a qualsiasi gas. Adunque *uno spazio limitato pieno di aria o di gas, a contatto di un liquido, si satura di vapore come se lo spazio fosse vuoto: l'elasticità del miscuglio del vapore e del gas è eguale alla somma delle forze elastiche che il vapore ed il gas vi prenderebbero esistendo separatamente.* La sola differenza prodotta dalla presenza dell'aria o del gas consiste nella minor rapidità con cui lo spazio si satura di vapore. Questo fatto ci presenta così una nuova analogia fra i vapori ed i gas, poichè la stessa legge da noi ora esposta si osserva nel miscuglio dei gas fra loro purchè essi non abbiano azion chimica. Ognuno dei gas esiste ed agisce nel miscuglio colla sua forza elastica, indipendentemente dagli altri con cui è mescolato, e come fosse solo.

Nel caso in cui lo spazio nel quale il vapore si forma è estendibile; può facilmente intendersi ciò che deve accadere. È collo stesso apparecchio che si possono osservare i fenomeni. Dopo che il volume occupato dal gas e dal vapore è stato ridotto al volume primitivo del gas secco, che chiameremo *V*, per cui nel tubo *CD* riman sollevata una colonna di mercurio che indica la forza elastica del vapore, si fa uscire una certa quantità di mercurio dal robinetto inferiore *R'*, e così estendesi lo spazio *V*, sino a tanto che si vede discendere e fissarsi nel tubo *CD* il mercurio allo stesso livello del tubo grande. Il miscuglio del vapore e del gas ha in questo modo una forza elastica eguale alla pressione atmosferica. Se invece di mescolare gas e vapore, si fossero mescolati due gas, come per esempio aria atmosferica ed un altro gas, il cambiamento di volume e di forza elastica sarebbe accaduto secondo la legge di Mariotte; lo stesso sarebbe accaduto se il vapore non fosse

costantemente stato al massimo di tensione o di densità; ma supposto che uno strato liquido di etere sia rimasto sopra il mercurio anche dopo l'aumento dello spazio, è accaduto che una nuova quantità di vapore si è formata a misura che lo spazio si è accresciuto, e che infine il vapore ha conservato nello spazio esteso la stessa tensione massima che aveva prima che lo spazio fosse accresciuto. La forza elastica dell'aria è per conseguenza ridotta a ciò che manca alla forza elastica del vapore per equivalere alla pressione atmosferica. Se la forza elastica del vapore equivale ad una mezza atmosfera, l'aria non sosterrà più che la pressione dell'altra metà, per cui dovrà il suo volume divenir doppio. Basterà dunque di conoscere la forza elastica massima del vapore per essere in grado di determinare il nuovo volume V, che dovrà prendere il miscuglio del vapore e dell'aria. Difatti, sia per esempio v il volume primitivo dell'aria secca ad una pressione qualunque p, e sia f la forza elastica del vapore. Il volume v deve dilatarsi, mescolandosi al vapore, finchè la sua forza elastica così diminuita, aggiunta a quella del vapore, equivalga alla pressione atmosferica. La forza elastica dell'aria nel nuovo volume è espressa da $p-f$; e poichè i volumi sono in ragione inversa delle forze elastiche, avremo che

$$V : v = p : p-f, \text{ da cui}$$

$$V = \frac{v \times p}{p-f}$$

Nello stesso modo sarà facile determinare la densità dell'aria e quella del vapore che saranno mescolati, e per conseguenza quella del loro miscuglio. Difatti, essendo le densità proporzionali alle forze elastiche, la densità dell'aria nel miscuglio starà alla densità di un'altra massa d'aria asciutta, e alla stessa temperatura e pressione del miscuglio, come $p-f$ sta a p. Perciò chiamando D' la densità dell'aria nel miscuglio, e D la densità dell'aria asciutta nelle stesse condizioni di temperatura e di pressione, avremo

$$D', D = p - f : p, \text{ da cui}$$
$$D' = \frac{D \times p - f}{p}$$

La densità del vapore, si avrà moltiplicando per 0,620 la densità che dovrebbe aver l'aria secca se fosse alla stessa sua temperatura ed avesse la medesima sua forza elastica. Questa densità, sommata a quella dell'aria con cui è mescolata, darà la densità del miscuglio. Da ciò resulta che sotto la stessa pressione ed alla stessa temperatura, un volume d'aria sarà tanto più leggiero quanto più l'aria sarà satura di vapore acqueo. Parimente è chiaro come al crescere della temperatura dovrà aumentare la quantità del vapore contenuto nell'aria ad una pressione costante: elevandosi la temperatura cresce la tensione e la densità del vapore e scema quella dell'aria.

Dopo quanto abbiamo esposto intorno al miscuglio de' vapori coi gas, non deve far più meraviglia che un vapore, il quale nel vuoto non è capace di sopportare una pressione di $\frac{1}{4}$, di $\frac{1}{3}$, di $\frac{1}{2}$ atmosfera senza condensarsi, possa mantenersi nell'atmosfera mescolato all'aria. Ciò dipende dal principio che abbiamo dimostrato, che in uno spazio pieno di un miscuglio di gas e di vapori, ognuno di questi sostiene una porzione della pressione totale, come se vi fosse solo. Così per esempio, il vapor d'etere, che ha alla temperatura ordinaria una forza elastica equivalente a circa $\frac{1}{2}$ atmosfera, mescolato all'aria, sotto la pressione ordinaria, sostiene la pressione di una mezza atmosfera.

Condensazione dei vapori mescolati ai gas. La condensazione del vapore mescolato all'aria o ad un gas qualunque accadrà per quelle stesse cagioni per cui avviene nel vapore formato in uno spazio vuoto, cioè a dire per un abbassamento di temperatura o per un aumento di pressione. Abbiasi un dato volume di aria umida alla temperatura di 20°, sotto la pressione ordinaria di 760 millimetri. Supponiamo che la forza elastica del vapore acqueo che contiene equivalga a 10 millimetri, sarà questa la porzione di pressione atmosferica che soppor-

terà il vapore. Lo spazio non è di certo al massimo di tensione, nè è perciò saturo di vapore. Comprimendo questo miscuglio, la tensione e la densità del vapore e dell'aria saranno accresciute; portata la tensione del vapore al suo massimo, se si seguiterà ad accrescere la pressione, una porzione del vapore sarà costretta a convertirsi in liquido, e la sola densità e forza elastica dell'aria cresceranno. Nello stesso modo raffreddando il miscuglio fino alla temperatura alla quale il vapore ha per forza elastica massima 10 millimetri, una porzione di vapore si farà liquida, continuando a raffreddare maggiormente.

Fenomeni di calefazione. – Con questo nome distinguonsi i singolari fenomeni che si producono gettando dei corpi sopra superfici fortemente riscaldate. Tali fenomeni sono stati scoperti dal Boutigny d'Evreux, il quale studiandoli sotto ogni rapporto, ha arricchito la scienza di un gran numero di fatti importanti. Ecco in che consiste il fenomeno principale scoperto dal Boutigny. Se si versa a poco a poco dell'acqua sopra un corpo caldissimo, come per esempio in un crogiuolo di platino portato al rosso-bianco, essa non entra in ebullizione; sembra invece che fugga il contatto del corpo caldo, e prendendo una forma globulare, saltella e si aggira sopra sè stessa intorno del crogiuolo senza mai toccarne le pareti. Non di meno quest'acqua scaldasi un poco, dà qualche vapore, e nel suo movimento diminuisce lentamente di volume. Se si estrae il crogiuolo dal fuoco, e si lascia raffreddare verso il rosso scuro, ossia a circa 200°, l'acqua comincia a perdere la sua forma sferica e a distendersi, e dopo poco viene in contatto delle pareti del crogiuolo, ed evapora con estrema rapidità e con rumore. Il Boutigny distingue col nome di *stato sferoidale*, quello dell'acqua nel fenomeno descritto; ma si è assicurato che ogni altro liquido volatile è capace di prenderlo. La cagione del fenomeno è assai semplice. Il calorico da cui è investita la lamina metallica, di cui la temperatura sorpassa i 150° o i 200°, forma intorno alla massa liquida uno strato di vapore che impedisce il di lei contatto colla lamina stessa; allora la comunicazione del calore è molto impedita

per questa soluzione di continuità, e per l'assorbimento che ne opera lo stesso vapore, per cui la massa liquida non ricevendo che pochissimo calore non si evapora se non con estrema lentezza, e la sua temperatura riman sempre al di sotto di 100°. In quanto alla forma sferoidale che acquista, forse ciò è dovuto al trovarsi immersa in un'atmosfera molto densa di vapore, la quale giunge a distruggere presso che intieramente l'effetto della gravità, per cui le sue molecole si aggruppano obbedendo soltanto alla reciproca loro attrazione. Resta a spiegare la causa del movimento vorticoso che prendono le masse sferoidali; ma su questo fenomeno regna ancora molta oscurità. Del resto, dei fenomeni della stessa natura di quello scoperto dal Boutigny, produconsi assai di sovente. I magnani ne producono tutti i giorni, ma in ordine inverso: quando vogliono temprare dell'acciajo, lo immergono arroventato nell'acqua fredda, e per varj secondi l'acciajo resta rosso nella medesima, producendo una specie di fodero di vapore che impedisce il contatto; ma tosto che si è alquanto raffreddato, il contatto col liquido si stabilisce, ed allora l'acqua bolle vivamente e l'acciajo si raffredda repentinamente. Lo stesso fenomeno può prodursi con un filo di platino reso incandescente per mezzo della corrente elettrica; esso conserva la sua temperatura nell'acqua senza produrre l'effervescenza e il riscaldamento che produrrebbe un filo meno caldo. Per la stessa ragione è possibile immergere un dito ed anche l'intiera mano in un bagno di ferro, di bronzo e di piombo fusi, senza bruciarsi. Questa singolare esperienza vien ripetuta da molti secoli dagli operaj fonditori, operando con la mano leggermente bagnata. Questa umidità artificiale, e spesso anche quella che è naturale alla mano, costituendo uno strato di vapore, impedisce il contatto col metallo fuso. È necessario per altro fare l'esperimento con una certa rapidità, ed è sempre prudenza bagnarsi la mano, o meglio immergerla, dopo averla insaponata, in una soluzione di sale ammoniaco.

Ma le ricerche del Boutigny su questo soggetto hanno dato origine a dei fatti, in apparenza anche più meravigliosi. Egli ha osservato che l'acido solforoso liquido è capace anch'esso

di prendere lo stato sferoidale in una cassula di platino resa incandescente nella mufola di un fornello a reverbero; ma ciò che è veramente singolare a vedere si è che immersa per pochi istanti una cassulina di platino piena di acqua nella massa sferoidale dell'acido solforoso, se ne estrae perfettamente congelata, ritraendola dall'interno del fornello acceso, in cui la temperatura è altissima. Questo apparente prodigio, in realtà è semplicissimo. Alla temperatura ordinaria l'acido solforoso esposto all'aria si abbassa coll'evaporazione 15 a 20 gradi sotto zero, ed anche a 40, se è esposto ad una corrente d'aria, per cui congela immediatamente le gocce d'acqua che si fanno cadere su di esso. Ora ridotto allo stato sferoidale, e avvolto da uno strato di vapore, l'acido solforoso continua ad evaporarsi lentamente senza mai acquistare una temperatura superiore a zero, e l'acqua che s'immerge nella sua massa si congela nella mufola del fornello, come si congelerebbe in ogni altra circostanza.

Dell'evaporazione. L'evaporazione, come abbiamo già indicato, è la formazione del vapore alla superficie libera dei liquidi. L'acqua si evapora alla superficie dei fiumi, dei laghi e dei mari; si evapora alla superficie della terra e sulle piante, e ciò a tutte le temperature, anche alle più basse. Egli è evidente che in tali circostanze il vapore acquoso non è dotato di forza elastica capace di vincere la pressione atmosferica. Perciò le osservazioni le più comuni ci provano che il vapore si forma sull'acqua a tutte le temperature, e che si esala nell'aria colle più deboli tensioni. Si era da primo supposto che questo fenomeno si producesse in virtù di un'affinità chimica esistente fra le molecole del vapore e quelle dell'aria; ma noi abbiamo già dimostrato come tale ipotesi sia falsa, poichè mostrammo i vapori formarsi meglio nel vuoto che nell'atmosfera. L'aria adunque è passiva nel fenomeno dell'evaporazione, ed anzi a primo aspetto sembrerebbe che dovesse opporsi ad ogni evaporazione, poichè la sua pressione equivale a 760 millimetri di mercurio, e quindi sorpassa la tensione del vapore alle temperature inferiori a quella dell'ebullizione. Ma l'aria non preme sui liquidi, come la base di uno stantuffo impermeabile; bensì presenta loro dei

pori nei quali può penetrare il vapore. I vapori si mescolano all'aria nella stessa guisa con cui vi si mescolano i gas. Se pongonsi a contatto dell'aria e del gas idrogeno, tenendo in alto il più leggiero, cioè l'ultimo, accade non di meno la formazione di un miscuglio omogeneo. Lo stesso avviene fra l'aria e i vapori.

Ma in qual guisa possono formarsi i vapori a delle temperature bassissime? Come avviene che il diaccio vada esso pure soggetto ad evaporazione sensibile, ben'anco alla temperatura estremamente bassa di — 40°; come avviene in generale che un gran numero di corpi solidi emanano dei vapori alle temperature ordinarie? Per ispiegarci questi fenomeni convien riflettere che la forza repulsiva del calorico, di cui sono dotati tutti i corpi, anche alle più basse temperature, nell'agire alla loro superficie tende a distaccare ed a sollevare le molecole superficiali dal rimanente della massa, e non trovando sufficiente ostacolo nella pressione della sovrapposta atmosfera, giunge a operarne la separazione; e le medesime svolgendosi ad una assai grande distanza fra loro, per effetto della stessa forza elastica del calore, vengono a costituire un fluido elastico.

Tuttavolta se l'aria non si oppone intieramente alla formazione dei vapori, ne ritarda notabilmente la formazione, giacchè come nel miscuglio di due gas, le molecole dell'uno sono un ostacolo meccanico alla diffusione delle molecole dell'altro, così nell'evaporazione le molecole dell'aria sono di ostacolo alla diffusione delle molecole dei vapori. È per questa ragione che l'evaporazione anche ad una temperatura meno alta è più rapida nel vuoto che all'aria libera.

Quando l'aria è satura di un dato vapore, l'evaporazione del liquido che l'ha prodotto si arresta. Così vediamo che l'evaporazione è molto lenta se l'aria è tranquilla, e rapida se è agitata; e ciò perchè in quest'ultimo caso ad ogn'istante nuovi strati d'aria non satura di vapore vengono portati a contatto del liquido. Un vento secco animato da una velocità infinita soffiando sulla superficie di un lago vi produrrebbe un'evaporazione così rapida, come se si operasse in un vuoto infinito, giacchè le molecole del vapore sarebbero così veloce-

mente trasportate che non potrebbero esercitare alcuna pressione sulle molecole dell'acqua per impedir loro di proseguire ad evaporarsi.

L'evaporazione di un liquido all'aria libera e tranquilla, benchè si operi in modo lento, continua nondimeno incessantemente, e ciò per la tendenza, che come abbiamo detto, hanno, a guisa dei gas, i vapori a mescolarsi all'aria per formare un tutto omogeneo. Quando poi il vapore che si produce ha una densità minore di quella dell'aria, come appunto il vapore acquoso, allora v'ha un'altra causa che contribuisce a perpetuare l'evaporazione, e questa si è la leggerezza che acquistano gli strati dell'aria nel saturarsi di vapore, per cui s'inalzano e cedono il posto a nuovi strati più pesanti e non saturi. Ecco perchè si arresta l'evaporazione di un liquido chiudendo con un coperchio il recipiente che lo contiene. L'aria rimasta nel recipiente bentosto si satura di vapore, ed allora l'ulteriore evaporazione diviene impossibile. È appena necessario osservare che l'evaporazione di un liquido dev'essere tanto più rapida quanta più superficie questo presenta.

Freddo prodotto dall'evaporazione. I vapori, in qualunque modo si formino, devono, per sussistere, contenere una grande quantità di calorico latente, e questo lo devono togliere al liquido in cui formansi ed ai corpi circondanti. Nell'ebullizione all'aria libera, il liquido conserva una temperatura fissa, perchè riceve dal fornello tanto calorico quanto il vapore ne assorbe; ma nella evaporazione spontanea, mancando la sorgente calorifica che serve a mantener costante la temperatura, la sottrazione del calorico deve necessariamente farsi sensibile, e quindi la temperatura abbassarsi. Se l'aria e i corpi circondanti non comunicassero continuamente del calore al liquido che spontaneamente si evapora, il suo raffreddamento potrebbe essere indefinito; ma la sua temperatura diviene stazionaria quando la perdita di calore dovuta all'evaporazione si trova compensata dallo irraggiamento dei corpi esterni e dal riscaldamento dovuto al contatto dell'aria. Se però l'evaporazione si fa con grande rapidità, queste cause non sono sufficienti a compensare la gran perdita di calore che accade, e il raffreddamento si fa sensibile. Quando pongonsi sulla

mano dei corpi molto volatili come l'alcool e l'etere, la loro evaporazione è accompagnata da una sensazione di freddo. Leslie ci ha insegnato che il raffreddamento che si produce per la rapida evaporazione dell'acqua nel vuoto è tale da produrre la congelazione di una porzione della medesima. Questa rimarchevole esperienza si fa sotto la campana della macchina pneumatica; ma è necessario porre al di sotto della cassulina contenente l'acqua da evaporarsi, un recipiente pieno di acido solforico, affinchè i vapori acquosi sieno tosto assorbiti, e non diminuiscano colla loro presenza la rapidità dell'evaporazione. È inoltre necessario che la quantità dell'acqua non superi i 20 grammi e sia posta sopra una cassulina di metallo molto larga e sottile.

Si può spingere il raffreddamento per evaporazione fino al punto di produrre la congelazione del mercurio. A tal' uopo si riveste di cotone la palla di un termometro, e si bagna con acido solforoso liquido: l'evaporazione è sì rapida, e la quantità di calore tolta dal vapore al termometro è così grande, che la colonna del mercurio si precipita a — 10°, — 20°, — 30°, e dopo pochi istanti tutto il mercurio della palla si congela.

Nell'estate l'evaporazione dei liquidi facendosi più rapidamente che nell'inverno produce un raffreddamento maggiore. È per questa ragione che in quella stagione si può rinfrescare una stanza spargendo dell'acqua sulle tende delle finestre, mentre in inverno una tale operazione non abbasserebbe quasi punto la temperatura. Quei vasi detti Alcarazas, di cui si servono in Spagna ed in Oriente per conservar fresche le acque e le bevande spiritose, sono dei recipienti porosi, che offrono all'evaporazione una estesa superficie umida. Il liquido interno s'infiltra attraverso le pareti, si evapora prontamente in un'aria un poco agitata, e quest'azione rinnuovandosi continuamente, il vaso ed il liquido che contiene sono perciò conservati ad una temperatura di 10°, 15°, o 20° al di sotto di quella dell'ambiente. Per una ragione simile, le piante devono generalmente avere una temperatura più bassa di quella dell'aria, giacchè dai loro tessuti esterni si evapora continuamente l'umidità interna. La traspirazione abbondante che si fa continuamente alla superficie del nostro corpo è una causa

continua di raffreddamento. È a motivo della traspirazione, che il calore del corpo umano si mostra costante tanto d'inverno che d'estate, e non cangia al variare dei climi, imperciocchè si fa dessa maggiore al crescere della temperatura, e quindi aumenta il raffreddamento che ne proviene. Così sotto la zona torrida, in cui la temperatura dell'aria s'inalza spesso a 50°, gli uomini vivono in quest'ardente atmosfera senza partecipare della sua temperatura; l'attività della traspirazione è proporzionata all'energia del calore, e queste cause contrarie si bilanciano con tanta armonia, che il sangue di un negro ha presso a poco la stessa temperatura di quello di un abitante della Lapponia. Se per una causa qualunque la nostra traspirazione verrà a rallentarsi, il calore dell'atmosfera ci si farà più sensibile; così non potremo sopportare una temperatura anche non molto alta in un'atmosfera satura di vapore, mentre potremo reggere a temperature più elevate in un ambiente asciutto.

Igrometria. L'igrometria ha per oggetto la ricerca dei varj gradi di umidità dell'aria; e gl'istrumenti usati a tale ricerca diconsi *Igrometri.* Diconsi poi *Igroscopi* quegl' istrumenti che manifestano i cambiamenti d'umidità nell'aria, senza però darne la misura. L'aria, anche quando sembra asciuttissima, contien sempre del vapore acquoso, lo che dimostrasi esponendo in mezzo di essa un vaso pieno di un miscuglio di diaccio e sale, poichè vedesi tosto del vapore acquoso depositarsi allo stato liquido sulle pareti del vaso. Nell'estate vediamo accadere lo stesso fenomeno sui vasi di cristallo pieni di acqua fredda.

Chiamasi *stato igrometrico* dell'atmosfera il rapporto fra la quantità di vapore in essa contenuta e quella che vi sarebbe contenuta se fosse satura. L'aria è difficilmente satura di vapore; se fosse tale la ricerca della quantità di vapore in essa contenuto sarebbe semplicissima. Difatti quando è conosciuta la temperatura che ha quest'aria satura di vapore è pur conosciuta la tensione massima del vapore stesso, e quindi la sua quantità. Supponiamo che la tensione massima del vapore mescolato all'aria sia di un centimetro, cioè a dire faccia equilibrio ad una colonna di mercurio alta un centimetro. È certo che il peso del vapore contenuto in un dato volume di

quest'aria satura di vapore, è eguale al peso di un egual volume d'aria presa alla stessa temperatura, ridotta alla stessa pressione di un centimetro, e moltiplicato per $\frac{5}{8}$, che è la densità assoluta del vapore acqueo. Infatti a volumi eguali, i pesi sono proporzionali alle densità. Perciò chiamando D e D' le densità dell'aria e del vapore acquoso, e P e P' i loro pesi, avremo

$$D : D' = P : P'$$

Ma D è eguale all'unità, D' è eguale a $\frac{5}{8}$. Perciò P' sarà $\frac{5}{8}$ di P. Ma l'oggetto dell'Igrometria si è quello di determinare la quantità di vapore acqueo contenuto in un dato volume d'aria non satura del medesimo. Per giungere a questo scopo sono stati immaginati differenti metodi, dei quali andiamo ad esporre i principali. Il metodo di Dalton perfezionato poi da Daniell e da Koerner è fondato sul seguente principio. Supponendo che si raffreddi lentamente una massa d'aria, si giungerà ad una temperatura così bassa in cui quest'aria verrà saturata dalla quantità di vapore in essa contenuto.. La differenza fra la temperatura dell'aria e quella a cui bisogna scendere perchè sia satura è ciò che indica lo stato igrometrico dell'aria. Quanto più conviene abbassare la temperatura dell'aria per ridurla satura, tanto più l'aria è asciutta; ed è tanto più umida quanto più questi due punti di temperatura sono vicini. Per determinare la temperatura a cui l'aria divien satura di vapore si prende un vaso di vetro in cui si pone dell'acqua alla temperatura dell'ambiente, e vi s'immerge un termometro. Si aggiungono all'acqua alcuni pezzi di ghiaccio, e si osserva in distanza quando il vetro comincia ad appannarsi, cioè a dire a coprirsi di un velo di acqua. In quel momento si osserva il termometro e si nota la temperatura. Questa temperatura è quella a cui l'aria divien satura di vapore, e dicesi *punto di rugiada.* Stabilita questa temperatura si trova nelle tavole che danno il rapporto fra le temperature, le forze elastiche e le densità massime del vapore acqueo, la tensione corrispondente: questa tensione è quella stessa che ha il vapore nell'aria non raffreddata. Difatti il raffreddamento di questo miscuglio d'aria e di vapore preso in mezzo all'atmosfera non fa che accrescerne le densità, diminuirne i volumi, senza che la tensione del miscuglio, equivalente sempre alla pressione barometrica, e le tensioni respet-

tive del vapore e dell'aria possano variare. Si sa dalla tensione massima del vapore corrispondente alla temperatura della condensazione qual'è la sua densità, e quindi qual'è il peso totale del vapore contenuto in un dato volume d'aria. Il punto di rugiada c'indica adunque la quantità del vapore d'acqua contenuto nell'aria nel momento dell'osservazione; ma questo elemento non basta per mostrare distintamente lo stato igrometrico dell'aria. Nell'inverno l'aria è spesso umidissima, mentre sarebbe secchissima in estate se contenesse la stessa quantità di vapore, poichè sappiamo che la quantità del vapore acqueo capace di saturare un dato volume d'aria, cresce proporzionalmente alla temperatura. Se dunque il punto di rugiada c'insegna qual'è la *quantità assoluta del vapor d'acqua* contenuto nell'aria, la differenza fra esso e la temperatura dell'aria c'indicherà la quantità relativa del vapor d'acqua o l'umidità dell'aria. Per determinare questo rapporto si nota la quantità di vapore che l'aria conterrebbe al momento dell'osservazione se fosse satura, e si divide per questo numero la quantità che v'è realmente contenuta. Il quoziente ci esprime lo stato igrometrico dell'aria. Ma poichè le tensioni, a temperature eguali, sono proporzionali alle densità o ai pesi del vapore contenuto in un determinato volume, egli è chiaro che il grado di umidità dell'aria, può anche essere espresso dal rapporto fra la forza elastica massima del vapor d'acqua alla temperatura del punto di rugiada, e la sua forza elastica massima alla temperatura dell'aria durante l'esperienza. Supponiamo che ad una temperatura di 28°, 4, il punto di rugiada segni 12°, 1; la tensione massima corrispondente è di 11^{mm}, 24: se l'aria fosse satura, a 28°, 4, la tensione corrispondente del vapore sarebbe di 29^{mm}, 63; dunque lo stato igrometrico dell'aria sarà espresso dalla frazione $\frac{11,24}{29,63}$.

Moltiplicando per 100 si ha, quanto per cento della quantità di vapor d'acqua che l'aria conterrebbe se fosse satura, è contenuto nella medesima al momento dell'osservazione. Nelle condizioni supposte, si avrebbe circa 38 per cento.

L'igrometro di Daniell è il più usato nelle ricerche igrometriche fondate sul metodo che abbiamo ora indicato. Con-

siste in due palle di vetro *a* e *b*, riunite (*Tav.* VII, *Fig.* 203), da un tubo doppiamente ripiegato. Una di queste palle contiene dell'etere; essa è annerita per lasciare meglio scorgere il punto in cui s'appanna. Nel suo centro v'ha un termometro, di cui la scala *c* è nel tubo. L'altra palla *a* è vuota, ed è terminata da una punta che fu necessaria per far bollir l'etere e cacciare l'aria prima di chiudere il tubo. L'apparecchio è sostenuto sopra una colonna *hg*, che porta un altro termometro *kl*. Si comincia l'osservazione bagnando d'etere la palla *a*, che è perciò coperta di una tela sottile. L'etere si evapora, raffredda la palla, ed il vapore che contiene si condensa. Allora si forma nuovo vapore dall'etere che è in *b*, e quindi anche questa palla si raffredda. Così raffreddasi anche l'aria che la circonda, ed il termometro *d* indica la temperatura a cui il vapore dell'aria vi si depone in rugiada. Vi sono anche altri igrometri a *condensazione*; ma il migliore è quello descritto.

Gli accademici del Cimento, nel secolo XVII, si servirono dello stesso principio per costruire un istrumento che indicasse la maggiore o minore umidità dell'aria; ma in quel tempo la teorica dell'evaporazione era ignota, e il loro apparecchio non era un igrometro, ma un semplice igroscopio. Consisteva in un vaso di forma conica rivolto col vertice in basso e riempito di ghiaccio sminuzzato o di neve. Il vapore acqueo diffuso nell'aria, si depositava pel raffreddamento sulle pareti esterne del vaso, e in tal guisa condensatosi veniva a sgocciolare per la punta del vaso in un recipiente sottoposto. Dalla frequenza delle gocce, o dalla quantità d'acqua raccolta in un dato tempo, si desumeva lo stato d'umidità dell'aria.

Un altro metodo per la ricerca dello stato igrometrico dell'aria si fonda sui cambiamenti di forma o di dimensioni che l'umidità fa provare a certe sostanze organiche. Si sono perciò costruiti igrometri con molte sostanze di questa natura, ma il più esatto, e quindi il più adoprato, si è quello *a capello*, di *Saussure*. Questo istrumento è basato sull'allungamento che subisce un capello nello assorbire il vapore acqueo. Si rende il capello sensibile alle variazioni anche piccole di umidità, spogliandolo della parte grassa che contiene col tenerlo in una soluzione leggiermente alcalina. Così preparato un capello si

allunga passando dall'estremo secco alla massima umidità di $\frac{1}{70}$ circa della sua lunghezza. Si fissa il capello ad una estremità in una pinzetta *a* (*Tav.* VII, *Fig.* 204), l'altra è avvolta e fissa intorno al solco di una piccola puleggia *b* mobilissima, la quale porta un indice *mn* che segna i suoi movimenti sul quadrante *pq*. Un piccolo peso di 2 a 3 grani attaccato ad un filo di seta, che è pure fissato e avvolto intorno al solco della carrucola, tende a stirare il capello. È chiaro che all'allungarsi e all'accorciarsi del capello l'ago si muoverà sul quadrante.

Ecco il metodo indicato da Saussure per graduare questo istrumento. Si colloca prima sotto una campana in cui s'è posto o del cloruro di calcio o della calce viva o dell'acido solforico, e vi si lascia fintantochè l'ago non ha preso una posizione fissa. Se l'ago conserva questa posizione per lo spazio di due o tre giorni si può esser sicuri che l'aria della campana è completamente asciutta, e che il punto del quadrante in cui è rimasto l'ago è quello della massima siccità: ivi si segna 0°. Allora si pone l'igrometro sotto una campana, le cui pareti sono bagnate, e che riposa sopra un bagno d'acqua. Dopo poche ore l'ago si fissa in un altro punto in cui si segna 100°, che è il grado della massima umidità. Questo intervallo si divide in 100 parti eguali. Quando l'istrumento è costruito con la cura necessaria, le sue indicazioni si corrispondono in tutte le circostanze; esso è comparabile. L'esperienza ha provato che il capello dell'igrometro di Saussure, a qualunque temperatura si trovi l'aria, assorbe sempre la stessa quantità di vapore quando questa è satura, e rende totalmente l'umidità assorbita all'aria perfettamente secca, cosicchè si è certi, che l'igrometro di Saussure indica in qualunque circostanza il massimo di umidità dell'aria, come pure il massimo di sua siccità. Non è però così dei gradi intermedj, i quali non sono proporzionali agli stati igrometrici dell'aria. Sono però state fatte delle tavole nelle quali sono indicati i rapporti fra i gradi dell'igrometro di Saussure e quelli dell'umidità atmosferica. Per trovare le tensioni del vapore che corrispondono ai diversi gradi dell'igrometro, conveniva cercarle per ogni temperatura. Gay-Lussac ha dato una tavola di que-

sto genere per le temperature di 10°; Melloni ne ha calcolata una per la temperatura di 22° ai 23°; Biot per altre.

È assai semplice il modo col quale sono ottenute queste scale. Il vapore acqueo formato da diverse soluzioni saline ha una tensione diversa, e sempre minore di quello formato dall'acqua pura. Per mezzo del barometro si possono determinare le tensioni diverse che sono prodotte dal vapore acqueo formato dalle varie soluzioni saline. Basta introdurre queste soluzioni nel vuoto barometrico ed osservare le depressioni che si producono. Con queste soluzioni medesime si può empire di vapore d'acqua una campana in cui s'è posto l'igrometro; il quale perciò vi segnerà i gradi intermedj fra 0° e 100°. Ecco la tavola di Gay-Lussac per la temperatura di 10°. A questa temperatura la tensione massima del vapore acqueo è di $9^{mm},49$, e nella scala di Gay-Lussac è indicata con 100°. È chiaro che la tensione di $7^{mm}, 5$, dovrà essere indicata con 79,1. Essa corrisponde al 90° dello igrometro di Saussure.

Gradi dell' Igrometro.	Tensione o densità del vapore.
100	100
90	79,2
80	61,2
70	47,2
60	36,3
50	27,8
40	20,8
30	14,8
20	9,5
10	4,6
	0

Questa tavola è inutile quando coll'igrometro di Saussure non si vuole esattamente conoscere lo stato igrometrico dell'aria, ma soltanto se dessa è più o meno umida.

Molti altri sono i processi igrometrici immaginati dai fisici. Leslie si è servito del freddo prodotto dall'evaporazione, il quale è tanto più intenso quanto questa è più rapida, e quanto più secca è l'atmosfera. V'ha dunque un certo rapporto tra la

forza elastica del vapore che esiste nell'aria, ed il raffreddamento che deve provare la bolla di un termometro convenientemente bagnato. Si possono adunque comporre delle tavole che esprimano questo rapporto e che permettano di dedurre la forza elastica del vapore, cioè a dire lo stato igrometrico dell'aria, mediante l'abbassamento di temperatura che osservasi nel termometro bagnato. L'igrometro di Leslie è una specie di termometro differenziale, in cui uno dei bulbi è ricoperto di un panno che s'impregna di un liquido volatile.

Sopra lo stesso principio è fondato un igrometro di recente invenzione, che è stato con successo impiegato dal celebre naturalista De Humboldt. Esso è dovuto ad August di Berlino, e conoscesi col nome di *Psicometro*. Si compone di due termometri perfettamente simili (*Tav.* VII, *Fig.* 205), situati in gran vicinanza l'uno all'altro; uno di essi ha il bulbo ricoperto da tela fine, dalla quale partono alcuni fili che immergonsi in un piccolo recipiente pieno di acqua distillata. L'azione capillare e la gravità conducono continuamente sull'inviluppo di tela una certa quantità d'acqua, la quale può facilmente regolarsi in guisa che resti sempre compensata quella porzione che si perde coll'evaporazione. Il termometro nudo indica la temperatura dell'aria; il termometro umido ci dà la temperatura prodotta dall'evaporazione, e per mezzo delle tavole se ne deduce la forza elastica del vapore contenuto nell'aria. La differenza delle temperature indicate dai due termometri può essere di varj gradi, e perfino di 8° o 10° se l'aria è estremamente asciutta; ma è nulla nell'aria satura di umidità, giacchè allora non può farsi l'evaporazione sul termometro umido.

Si potrebbe credere che il vento accelerando l'evaporazione producesse un maggior raffreddamento, e quindi fosse causa d'errore; ma è da osservarsi che mentre da un canto l'agitazione dell'aria raffredda il termometro, dall'altro lo riscalda col suo contatto rinnovato, e l'esperienza dimostra che un effetto compensa quasi intieramente l'altro.

L'August indica la seguente formola come atta a darci la tensione del vapore acquoso nel momento dell'osservazione. Chiamando T questa tensione si ha

$$T = e' - 0,00084\ (t - t')\ b$$

in cui t rappresenta la temperatura del termometro asciutto, t' quella del termometro umido, ambedue centigradi, b l'altezza del barometro in millimetri ed e' la tensione del vapore alla temperatura t'. Se la temperatura del termometro scende sotto lo zero, ed il bulbo si copre di un sottile strato di ghiaccio, la formola diviene la seguente;

$$T = e' - 0,000748\ (t-t')\ b.$$

La maggior parte delle osservazioni igrometriche sono state fatte coll'igrometro di Saussure. Questo istrumento segna ordinariamente 60°, e non scende mai al di sotto di 30°. Ciò significa che l'aria contiene in generale circa $\frac{4}{10}$ del vapor acqueo che può contenere. Si è parimente osservato che la saturazione non è mai completa anche dopo una gran pioggia, e la lancetta non oltrepassa i 95°, che corrisponde a 0,9 di umidità. Nella maggior siccità l'aria conserva ancora circa $\frac{1}{6}$ del vapore necessario a saturarla, imperocchè alla superficie della terra, mai scende l'igrometro al di sotto di 30°. Nel suo viaggio aereostatico il Gay-Lussac, all'altezza di 6000 metri vide l'igrometro a 26°, e quindi il grado dell'umidità era soltanto $\frac{1}{8}$. Sulla cima delle Alpi il Saussure non vide mai l'igrometro al di sopra di 40°, donde si deduce che a quell'altezza non contiene la quarta parte della umidità che potrebbe contenere.

Dobbiamo però osservare che i resultati ottenuti per mezzo dell'igrometro di Saussure debbono soltanto ritenersi come approssimativi, anche quando le indicazioni del medesimo sono state corrette per mezzo delle tavole che stabiliscono il rapporto fra i suoi gradi e le tensioni del vapore. Infatti il modo di agire di questo istrumento è complicato dalle variazioni di temperature, ed inoltre consta da una serie di attente osservazioni che il capello impiega un tempo assai lungo a porsi in equilibrio colla umidità dell'atmosfera.

Quanto all'uso degli altri igrometri diremo, che quello di Daniell, quantunque fondato sopra esatti principj, richiede molta abilità nell'osservatore ed un tempo assai lungo per ogni osservazione. Inoltre ha l'inconveniente di non dare delle indicazioni continue. Sembra adunque che lo psicometro di August sia quello che riunisca i maggiori pregi.

Applicazioni del vapore. — Impiego del vapore come forza motrice. Il vapor d'acqua è uno dei più potenti e più preziosi motori che si posseggano; non solo perchè gli si può dare quel grado d'intensità che si vuole, ma ben anco perchè si può fare agire dovunque e perfino sulle macchine di cui produce il movimento, come le carrozze e le navi.

Devesi ad Erone, celebre fisico di Alessandria, nato circa 120 anni prima di Gesù Cristo, la prima idea di adoprare il vapor d'acqua come forza motrice; ma egli si servì soltanto della reazione proveniente dal suo efflusso. Nel 1628 Branca, matematico italiano indicò l'uso della forza diretta proveniente dallo sgorgo del vapore, e nel 1615 Salomone di Caus, ingegnere francese, adoprò la pressione diretta del vapore sopra un liquido per sollevarlo. Nel 1687, Papin immaginò le macchine a stantuffo. Verso il principio del diciottesimo secolo Newcomen e Cawley, ingegneri inglesi, costruirono la prima macchina a stantuffo che fosse adoprata ad usi industriali. Ma i perfezionamenti più importanti fatti alle macchine a vapore, furono immaginati da Giacomo Watt, dimodochè egli è a questo sommo ingegno che siamo veramente debitori delle macchine le più utili e le più potenti che sieno mai state inventate.

La natura del nostro corso non ci permette di entrare in tutti i dettagli della costruzione delle macchine a vapore; ma ci limiteremo a indicare i principj dei differenti metodi che possono impiegarsi per far muovere delle macchine col mezzo del vapore, e descriveremo succintamente le caldaje a vapore, una delle macchine fisse più in uso, ed una macchina locomotiva.

1.° *Principj generali delle macchine a vapore.* Il metodo che sembra il più semplice e il più diretto per impiegare il vapore come forza motrice consiste (*Tav.* VII, *Fig.* 206) in una caldaja *A* piena d'acqua, e chiusa da un coperchio fornito di un tubo, che va a sboccare presso la circonferenza di una ruota a palette *MN.* S'intende facilmente che il vapore sortendo dall'orifizio *o*, urta le palette della ruota, con una forza dipendente dalla velocità e dalla densità del vapore, e la fa girare; questo movimento di rotazione può essere allora trasformato in un altro qualunque movimento. Questa fu l'idea

del Branca, ma non ha mai ricevuto applicazioni importanti malgrado la sua semplicità, a motivo del poco effetto utile prodotto dal vapore.

Il vapore può essere anche impiegato per reazione, come nella macchina rappresentata dalla *Tav.* VII, *Fig.* 207. *A* è una sfera metallica mobile intorno a due tubi *ab* ed *ab'*, le cui estremità riunite comunicano con una caldaja a vapore *M*; la sfera è fornita di due o di un maggior numero di tubi *mn*, diretti perpendicolarmente all'asse di rotazione, e forati da uno stesso lato da dei piccoli orifizj laterali *o*., *o'*. Il vapore che formasi nella caldaja passa nella sfera e fuggendo dagli orifizj *o*, *o'*, la fa girare in senso contrario dello scolo. Questa è la macchina immaginata da Erone un secolo prima dell'Era volgare, ed è quindi la prima in cui il vapore siasi impiegato come forza motrice. Anche questa macchina, per le stesse ragioni della precedente, è rimasta senza usi.

La prima idea delle macchine fondate sulla forza elastica del vapore è dovuta a Salomone di Caus, il quale immaginò di servirsi di questa forza per far salire l'acqua ad un'altezza considerevole. Il suo apparecchio è rappresentato nella *Tav.* VII, *Fig.* 208. *AA'* è un tubo comunicante con una caldaja a vapore, e con un cilindro *BB* ermeticamente chiuso; *CC* è un canale unito al fondo del cilindro *B*, contenente una valvola *m* che apresi dal basso all'alto, ed immerso nell'acqua che devesi inalzare; *DD* è un altro canale, che parte dal fondo del vaso *B* e si prolunga fino al serbatojo *E*, in cui l'acqua dev'essere inalzata: esso contiene una valvola *n*, che si apre dal basso all'alto; infine *GG* è un piccolo tubo destinato a condurre dell'acqua fredda dal serbatojo *E* nel cilindro *B*. Se, girando il robinetto *a*, si permette al vapore di entrare nel cilindro *B*, il vapore scaccerà l'aria, la quale uscirà dal canale *DD*; se poi si chiude il robinetto *a*, e si apre per pochi momenti il robinetto d'iniezione *b*, il vapore si condenserà, la valvola *m* si aprirà, e il cilindro *B* si riempirà d'acqua; allora aprendo nuovamente il robinetto d'introduzione, la pressione del vapore sull'acqua costringerà questa a sollevarsi nel tubo *DD*, ed a passare nel serbatojo *E*, purchè la tensione del vapore sia sufficiente.

Tutte le macchine che sono impiegate oggidì sono fondate, non sull'effetto derivante dallo sgorgo del vapore, ma sulla sua forza elastica. Per bene intendere l'effetto di questa forza elastica, immaginiamo una caldaja a vapore *A* sormontata da un cilindro metallico *MNPQ*, nel quale si muove uno stantuffo *x* (*Tav.* VII, *Fig.* 209). La parte inferiore del cilindro comunica colla caldaja per mezzo di un tubo fornito di un robinetto *R*, e per mezzo di un altro robinetto *R'* si può mettere la cavità interna del cilindro in comunicazione coll'aria. Lo stantuffo, essendo all'estremità inferiore della sua corsa, ed il vapore della caldaja essendo ad una temperatura superiore a quella della sua ebullizione nell'aria libera, supponiamo che si apra il robinetto *R*, essendo chiuso il robinetto *R'*: il vapore premerà di basso in alto la superficie inferiore dello stantuffo, e questa pressione essendo maggiore di quella che l'aria esercita sulla superficie superiore, lo stantuffo salirà con una forza eguale alla differenza delle pressioni che agiscono sulle due facce. Per esempio, se il vapore nella caldaja fosse a 122°, la forza elastica del vapore sarebbe di due atmosfere, ogni centimetro quadro dello stantuffo sarebbe premuto da una forza eguale a chilog. 1,03; conseguentemente sè avesse un metro di superficie, la forza d'ascensione sarebbe di 10,300 chilogrammi. Supponiamo ora che lo stantuffo essendo giunto alla sommità del cilindro, si chiuda il robinetto *R* e si apra il robinetto *R'*; il vapore chiuso nel cilindro sortirà nell'aria, si dilaterà, e prenderà in pochi istanti una forza elastica eguale a quella dell'atmosfera; allora lo stantuffo in virtù del proprio peso, ritornerà nella primitiva posizione. Aprendo nuovamente il robinetto *R* e chiudendo il robinetto *R'*, si produrrà una nuova ascensione dello stantuffo, e per un moto contrario dei robinetti una nuova discesa; perciò si darà all'asta dello stantuffo un movimento in su e in giù, che potrà trasformarsi in un moto circolare o di un'altra natura.

Tale fu la macchina a stantuffo immaginata dal Papin; ma siffatta disposizione, ha un inconveniente grave: la forza colla quale lo stantuffo sale e discende non è la stessa. Si potrebbe rendere eguale caricando lo stantuffo di un peso tale che diminuisse la forza ascensionale di quanto aumentasse la forza

della caduta. Si può anche ottenere lo stesso effetto facendo agire successivamente il vapore al di sopra e al di sotto dello stantuffo, per mezzo di una disposizione dell'apparecchio che è rappresentata dalla *Tav.* VII, *Fig.* 210. Il cilindro *MNPQ* è esattamente chiuso; ma onde il movimento dello stantuffo possa comunicarsi al di fuori, l'asta del medesimo passa per una ghiera in cui scorre a sfregamento, e che è fissa nella parte superiore del cilindro. È facile osservare che se apronsi contemporaneamente i robinetti *R* ed *r*, il vapore s'introdurrà al di sotto dello stantuffo e lo farà salire, mentre l'aria rinchiusa nel cilindro al di sopra dello stantuffo sortirà dal robinetto *r*; e se chiudesi questo robinetto, quando lo stantuffo sarà giunto all'estremità della sua corsa, e nel tempo stesso apronsi i robinetti *R'* ed *r'*, lo stantuffo discenderà con una forza che non differirà da quella che lo ha fatto salire, che del solo peso dello stantuffo. Per evitare la cura che esigono i movimenti dei quattro robinetti si riducono a un solo, come nella *Tav.* VII, *Fig.* 211. Il vapore giunge dalla caldaja pel canale *ab*, entra in una cassetta circolare in cui sboccano i due canali destinati a condurre il vapore al di sopra e al di sotto, e un piccolo tubo laterale che sbocca al di fuori. Questa scatola riceve un pezzo analogo alla chiave di un robinetto, incavato in modo da porre in comunicazione il condotto *ab* con uno dei canali *c* o *d* e l'altro coll'orifizio *e*. Allora pel solo movimento d'un'asta *k* fissa a questa chiave s'introduce il vapore sopra una delle facce del cilindro, e si fa sortire quello che si era accumulato sull'altra.

Le varie disposizioni di cui abbiamo parlato esigono necessariamente che il vapore abbia una tensione molto superiore a quella dell'atmosfera; ma si è giunti a produrre lo stesso effetto in un modo diverso, facendo uso del vapore ad una temperatura poco superiore a 100°. Il cilindro *MNPQ* è aperto nella sua parte superiore; e la sua parte inferiore comunica colla caldaja a vapore, e per mezzo di un tubo fornito di robinetto con un serbatojo di acqua fredda *xy* (*Tav.* VII, *Fig.* 212). Lo stantuffo essendo all'estremità inferiore della sua corsa, se apresi il robinetto *R*, il vapore penetrando sotto lo stantuffo lo inalzerà, supponendo che la pressione del vapore superi quella

dell'atmosfera e tutto il peso dello stantuffo; o che nel caso contrario lo stantuffo tenda a sollevarsi per un contrappeso. Lo stantuffo essendo giunto alla sommità del cilindro, se chiudesi il robinetto *R* ed apresi il robinetto *R'*, durante un tempo cortissimo, l'acqua fredda introdotta condenserà il vapore, e la pressione dell'atmosfera ricondurrà lo stantuffo alla sua posizione iniziale. È per questa ragione che siffatta macchina ha ricevuto il nome di *macchina atmosferica*. Si può con questa macchina ottenere, come nel caso precedente, un movimento alternativo dello stantuffo; ma v'ha quì pure l'inconveniente d'una forza molto ineguale nei due movimenti dello stantuffo, ed inoltre sono necessarie delle convenienti disposizioni per togliere dal cilindro l'acqua d'iniezione e l'aria che il vapore trascina con sè, e che accumulandosi finirebbe coll'impedire alla macchina di funzionare. Per evitare il primo inconveniente si può impiegare un contrappeso o due apparecchi, che agendo alternativamente alle due estremità di un bilanciere producano in questo dei moti capaci dello stesso effetto; ma si evita questa complicazione con un metodo analogo a quello della figura 213 introducendo e condensando alternativamente il vapore al di sopra e al di sotto dello stantuffo. Per evitare il raffreddamento del cilindro, dovuto all'iniezione, la condensazione si effettua in un cilindro separato, che è distinto col nome di *condensatore*, da cui si toglie l'acqua e l'aria per mezzo di una pompa, che riceve il suo movimento da quello dell'asta dello stantuffo, e che dicesi *pompa d'aria*. Ecco come è disposto questo apparato.

Il cilindro *MNPQ* (*Tav.* VII, *Fig.* 213) intieramente chiuso è in comunicazione colle sue due estremità col canale *ab*, che conduce il vapore della caldaja, per mezzo dei due condotti *cd* ed *ef*; la cassetta circolare dove sboccano questi tre canali è guarnita d'un quarto canale *gh*, che comunica con un cilindro chiuso *xyzt*; quest'ultimo comunica con un serbatojo d'acqua fredda *mnpq* e con una pompa aspirante *s u*, lo stantuffo della quale è posto in moto dal bilanciere *AB*, all'estremità *A* del quale è fissa l'asta dello stantuffo, e di cui l'altra estremità produce il moto che la macchina deve compiere. Girando convenientemente l'asta *k*, si fa giungere il vapore al di sopra o al

di sotto dello stantuffo, e si pone l'altra parte del cilindro in comunicazione col condensatore, ove il vapore si precipita e si condensa; perciò pel solo movimento alternativo dell'asta *K* si produce il movimento della macchina.

Fin qui si è supposto che il robinetto d'introduzione del vapore restasse aperto durante l'intiero movimento dello stantuffo, e conseguentemente che durante questo movimento la forza elastica del vapore restasse costante ed eguale a quella del vapore della caldaja; ma l'esperienza ha dimostrato che era vantaggioso chiudere questo robinetto prima del termine della corsa, la quale allora termina per la elasticità o per lo *scatto* del vapore già introdotto nel cilindro.

Da quanto precede vedesi che le macchine a vapore possono essere a *semplice* o a *doppio effetto*, secondo che il vapore agisce da un sol lato dello stantuffo o da ambedue, che possono essere ad *alta* o a *bassa pressione*, a *condensazione o senza*, ad *un solo o a varj cilindri*, a *scatto o senza*: da ciò un grandissimo numero di differenti specie di macchine.

Le macchine atmosferiche furono inventate da Newcomen e Cawley, e malgrado i loro difetti sono anche oggidì in uso in varie miniere d'Inghilterra, in cui il carbon fossile è a basso prezzo.

I perfezionamenti più importanti dovuti al celebre Watt sono i seguenti: 1.° la condensazione del vapore in un recipiente distinto; 2.° la pompa d'aria; 3.° le macchine a doppio effetto; 4° lo scatto. Dopo Watt, Woolf ed altri meccanici costruirono delle macchine ad alta pressione senza condensazione, destinate a mettere in movimento delle vetture, o ad altri usi pei luoghi in cui non si può avere a disposizione la quantità d'acqua necessaria alla condensazione.

L'applicazione del vapore alla navigazione data dai primi anni del secolo attuale. Fulton, in America fu il primo a costruire dei battelli a vapore: poco appresso divennero di un uso generale. Quanto alle carrozze a vapore, o locomotive, anche di queste ne furono costruite alcune, assai imperfette, nei primi anni di questo secolo; ma soltanto nel 1829 furono rese atte a percorrere le strade ferrate con carichi pesantissimi e con una velocità molto superiore a quella dei cavalli. È a

Giorgio Stephenson che è dovuta questa gloria. L'apertura del cammino di ferro tra Liverpool e Manchester, nel Settembre del 1830, apprese al mondo quali prodigi potevano aspettarsi dalle locomotive a vapore

2.° *Delle caldaje a vapore.* Le caldaje destinate a produrre il vapore sono di lamiera, di ghisa o di rame, e si dà loro un gran numero di forme diverse. Noi non possiamo qui far conoscere tutte le forme delle caldaje a vapore, ma descriveremo la *caldaja a bollitori*, che è generalmente adottata per le macchine fisse, e la *caldaja tubulare* adottata con vantaggio pei bastimenti.

Caldaja a bollitori. Questa caldaja è rappresentata nelle sue sezioni longitudinale e trasversale dalle figure 214 e 215 della Tavola VII. Si compone del corpo della caldaja *a*, che è un lungo cilindro terminato da due callotte emisferiche, e di due bollitori *bb'*, di cui le estremità anteriori riposano sui mattoni del forno; ogni bollitore comunica col corpo della caldaja per mezzo di due o tre larghe tubulature *c*. L'acqua riempie completamente i bollitori, ed il suo livello dev'essere mantenuto verso la metà dell'altezza della caldaja, e di ciò rende sicuri il tubo di livello *d*, nel quale sboccano due tubi orizzontali, l'uno in alto che comunica col vapore, l'altro in basso che comunica coll'acqua. Questa disposizione permette di dare un'assai grande profondità ed una considerevole superficie alla caldaja, senza adoprare una massa troppo grande di acqua, la quale porterebbe un dispendio troppo considerevole di combustibile. Il vapore formatosi fugge dal grosso tubo *e*. L'acqua di alimentazione spinta dalla pompa alimentare giunge pel tubo *f*, che non deve sboccare nel vapore stesso, ma penetrare nell'acqua fin presso il fondo della caldaja, onde non distruggere colla condensazione il vapore formatosi.

Il combustibile che serve al riscaldamento della caldaja è gettato sulla gratella *g* dalla porta *h*, la quale non si apre che al momento della sua introduzione; l'aria giunge dal ceneratojo *i*, passa tra le sbarre della gratella e determina un'attiva combustione; la fiamma s'insinua nel condotto *k* sotto i bollitori, si ripiega contro la volta *l*, prende il condotto interno *m*, perchè l'intervallo compreso fra le tubulature di ogni bollitore è chiuso con dei mattoni, scalda così la parte superiore dei

bollitori e il fondo stesso della caldaja: giunta verso la estremità anteriore della caldaja, si separa in due parti, l'una che prende a diritta il condotto esterno *n*, e l'altra che prende a sinistra il condotto esterno *n'* (*Tav.* VII, *Fig.* 215): è in questa guisa che le pareti laterali della caldaja sono esse stesse scaldate in tutta l'altezza che è al di sotto del livello dell'acqua; infine giunta all'estremità della caldaja, la fiamma passa nel camino, dov'è aspirata. Il registro *o* serve a regolare l'attività della combustione.

Il vapore accumulato al di sopra dell'acqua nella caldaja impedirebbe l'ebullizione se avesse sempre una tensione eguale a quella del vapore che tende a formarsi; ma è nel mentre che il vapore fugge con rapidità verso i cilindri della macchina per agire sugli stantuffi, che si fa l'ebullizione dell'acqua. Il vapore si forma prima nei bollitori, siccome i più riscaldati, e traversa tutta l'acqua della caldaja per andare a rimpiazzare quello che è sortito. Conseguentemente se la pressione fosse subito assai considerevolmente diminuita, l'enorme volume di vapore che tenderebbe a formarsi istantaneamente potrebbe slanciare l'acqua della caldaja nel tubo di uscita ed anche nei cilindri della macchina. Si evita questo inconveniente dando una adattata grandezza allo spazio della caldaja che deve rimaner pieno di vapore, e che è detto *camera del vapore*. Importa anche moltissimo che le tubulature dei bollitori sieno abbastanza larghe, onde il vapore possa liberamente uscire attraverso di esse; perchè è stato osservato che essendo strette, il vapore ascendendo nell'acqua con molta lentezza, vi si accumulerebbe e impedirebbe all'acqua della caldaja di scendere nei bollitori, i quali ben presto rimarrebbero vuoti e diverrebbero roventi; per cui quando per qualche causa l'acqua venisse a ricadere dentro di essi vi sarebbe sicuramente un'esplosione. V'è pure un simile pericolo d'esplosione, se il livello dell'acqua si abbassa di troppo nella caldaja. Quando si ristabilisse il livello con un'alimentazione più attiva, le pareti eccessivamente riscaldate potrebbero dare istantaneamente una massa troppo grande di vapore. Un'altra causa di esplosione consiste nelle incrostazioni di materie calcaree che formansi intorno alle pareti delle caldaje in grazia dei sali cal-

carei contenuti nell'acqua, e che depositansi durante la sua ebullizione. Queste incrostazioni lasciano malamente passare il calore, per cui si è allora costretti di riscaldare maggiormente, ed il metallo si arroventa. Se allora accade che la incrostazione si screpoli o si stacchi, l'acqua viene al contatto di una superficie rovente, e l'esplosione è imminente.

L'eccessivo riscaldamento accidentale delle pareti è dunque molto da temersi nelle caldaje a vapore, sia che provenga da una imperfetta circolazione dell'acqua, sia dall'abbassamento di livello, sia da un'incrostazione. È desso la causa d'esplosione la più temibile.

V'ha per altro un'altra causa di esplosione, voglio dire *l'eccessivo riscaldamento generale*, il quale dipende da un accrescimento lento e progressivo di temperatura in tutta la massa del liquido, quando il fuoco è troppo attivo, o quando si forma molto più vapore di quello che è consumato. Allora v'ha bentosto un eccesso di pressione, al quale possono cedere le parti della caldaja naturalmente più deboli, ovvero indebolite dall'uso, dall'ossidazione o da qualche altra causa. Si ripara a questa causa di esplosione, ovvero si giunge ad essere avvertiti in tempo per ripararvi, mediante gli apparecchi di sicurezza che andiamo ad accennare.

Apparecchi di sicurezza. Il termometro, il manometro e la valvola di sicurezza sono i mezzi di sicurezza che servono ad evitare l'esplosione proveniente da un *generale eccessivo riscaldamento*. Il termometro indicando la temperatura, indica parimente quale è la tensione del vapore, perchè sulla scala dei gradi stanno scritte le pressioni corrispondenti in atmosfere. Per questa ragione chiamasi anche *termo-manometro*. Il manometro fa conoscere direttamente la pressione del vapore, e può essere ad aria libera o ad aria compressa. Le *valvole di sicurezza* sono variabilissime nelle loro forme e nelle loro dimensioni: talora hanno la forma di cilindri o di coni troncati; talora sono semplici piani che si adattano in un modo esattissimo sulle pareti degli orifizj (*Fig.* 216, *Tav.* VII). In tutti i casi devono chiudere esattamente fino all'istante in cui sono sollevate. Esse devono esser premute dal di fuori in dentro da una molla o da un peso la cui forza eguagli la pressione che il vapore

esercita dall'interno all'esterno, alla temperatura che non si vuole oltrepassare. Per poco che la temperatura ecceda questo limite, la valvola vien sollevata, il vapore fugge, e la forza elastica di quello che si forma nella caldaja diviene stazionaria. Ordinariamente le valvole delle caldaje delle macchine a vapore sono premute per mezzo di una leva mobile intorno ad una sua estremità, che appoggiasi sulla valvola colla sua parte media, e di cui l'altra estremità è carica di un peso di cui si fa variare l'effetto cambiando la sua posizione sull'asta.

La sezione della valvola di sicurezza deve dipendere dalla estensione della superficie riscaldata, e le deve essere proporzionale, giacchè una superficie doppia producendo nello stesso tempo e sotto le stesse condizioni una quantità doppia di vapore, fa d'uopo un orifizio doppio per darle adito quando ha insieme la stessa densità e la stessa pressione. Siccome le leggi dell'efflusso dei fluidi elastici sottoposti a pressioni considerevoli, non sono che imperfettamente conosciute, è stato necessario far delle esperienze dirette sulla velocità di scolo del vapore, nelle varie condizioni che possono presentare le caldaje, onde proporzionare l'orifizio delle valvole alla grandezza delle caldaje, affinchè possa uscire dal medesimo tutto il vapore che si è formato sotto la pressione alla quale la valvola si è sollevata. Queste esperienze hanno dimostrato, che è necessario, per un metro di superficie riscaldata, che le valvole abbiano le dimensioni seguenti, secondo le varie pressioni:

Pressioni in atmosfere 1, 2, 3, 4, 5, 6.
Diametro delle valvole, centimetri 2^c,063, 1^c,616, 1^c,572, 1^c,214, 1^c,100.

Date queste dimensioni per un metro di superficie di riscaldamento, è facile trovar quelle che corrispondono ad una superficie di 10, 20 o 25 metri. Per 25 metri, per esempio, i diametri delle valvole dovranno essere cinque volte più grandi, poichè le sezioni stanno fra loro come i quadrati dei diametri. Per due atmosfere il diametro della valvola sarebbe dunque 10^c,815, cioè a dire 10 centimetri e $\frac{1}{2}$; per 6, solamente 5 centrimetri e $\frac{1}{2}$. Si potrebbe credere che queste determinazioni non fossero necessarie, e che non vi fosse alcun danno a porre

da per tutto delle valvole molto larghe; ma fa d'uopo considerare, che se si mettesse sopra una caldaja una valvola di un diametro troppo grande, nell'istante in cui si aprisse per un eccesso di pressione, il liquido si slancerebbe con grande impeto contro le pareti della caldaja, e potrebbe cagionare appunto i danni stessi che voglionsi evitare.

In quanto alla disposizione della leva che porta il peso di pressione, bisogna osservare, che essa gira attorno ad un asse che è appunto sulla stessa linea orizzontale della testa della valvola. Perciò il peso che agisce all'estremità della leva produce tutto il suo effetto. Se si tratta per es. di una caldaja di 30 metri quadri di superficie di riscaldamento, che debba sopportare sei atmosfere, il diametro della valvola dev'essere di 6 centimetri, la sua superficie di $28^{c},26$, e bisogna aggiungere sulla valvola un peso equivalente a 5 atmosfere, poichè la pressione dell'aria costituisce già un'atmosfera; questo peso è dunque $5 \times 1^{\text{chilogr.}},033 =$ chilogr.[i] 5,165 per centimetro quadrato, o 141 chilogrammi per centim.[i] 28,26: la testa della valvola, essendo per esempio a un decimetro dal punto fisso, ed il punto di pressione del peso a 5 decimetri, saranno chilogr.[i] 28,2 che bisognerà applicare alla valvola, dopo aver però sottratto il peso della valvola stessa.

I tre mezzi di sicurezza di cui abbiamo parlato, cioè il termometro, il manometro, e le valvole di sicurezza, possono essere efficaci a prevenire le esplosioni dovute ad un eccessivo generale riscaldamento, ma non egualmente contro le cause accidentali di esplosione che abbiamo testè accennate. Si prevengono le incrostazioni che possono formarsi nelle caldaje, gettando nel loro interno delle patate ovvero un'argilla molto fine, i quali corpi impediscono l'aggregazione dei depositi delle acque, e formano una poltiglia, da cui si libera di tempo in tempo la caldaja. Se le acque che servono all'alimentazione sono buone, basta ripulire le caldaje una volta la settimana. L'abbassamento di livello, viene indicato coi mezzi seguenti: 1.° dal tubo di livello, di cui abbiamo già fatto menzione; 2.° da due robinetti posti sotto le mani del fuochista, l'uno un poco al di sopra del livello normale, l'altro un poco al di sotto: aprendo di tratto in tratto questi robinetti si giudica

dello stato della caldaja; se il primo dà dell'acqua il livello è troppo alto; se il secondo dà del vapore, il livello è troppo basso; 3.° da diversi *galleggianti*, dei quali descriveremo quello soltanto distinto col nome di *indicatore*. Questo componesi di una sfera metellica vuota p attaccata, come indica la *figura* 214, ad un'asta curva fissa fra due punte al sostegno fisso q, e capace di oscillare liberamente; il contrappeso p' equilibra in parte il galleggiante. Un sottil filo metallico rr, legato al galleggiante p, traversa una ghiera a sfregamento, e sale verticalmente per attaccarsi all'indicatore r'; allo stesso indicatore si unisce un altro filo che scorre sulla puleggia r'', e porta un altro contrappeso p''; per mezzo dei contrappesi p' e p'' il galleggiante non è che a metà immerso nell'acqua. Tosto che il livello s'alza o si abbassa nella caldaja l'indicatore r' ne segue i movimenti, e li indica al fuochista.

Caldaje dei Battelli a vapore. Queste caldaje non potendo avere un peso tanto considerevole quanto le caldaje a bollitori col loro fornello di materiale, si alleggeriscono costruendole di lamiera e a fornello interno, cioè a dire, che il fornello e i canali del fumo sono da per tutto circondati dall'acqua fino all'apertura del camino che è pure di lamiera. Ma si può adempire a questa condizione variando moltissimo le forme; quindi è che si sono immaginati un gran numero di sistemi diversi. Per la navigazione dei fiumi si adottano generalmente le *caldaje tubulari* aventi l'acqua intorno a dei tubi in cui penetra la fiamma, e si fanno ascendere le pressioni a 5, 6, 7, o 8 atmosfere; nella navigazione marittima si resta alle basse pressioni di un'atmosfera e mezzo o di due, eccetto agli Stati-Uniti ove impiegansi quasi costantemente le alte pressioni. In tal caso impiegansi generalmente delle caldaje di forma rettangolare ad angoli arrotondati aventi 4, 6, 8 o 10 fornelli, i cui canali rettangolari ad angoli arrotondati fanno varie circonvoluzioni orizzontali in mezzo all'acqua prima di sboccare nel camino. Per le locomotive s'impiegano delle caldaje tubulari, di cui daremo dettagliatamente la descrizione quando tratteremo di quelle macchine.

3.° *Delle macchine a vapore fisse.* Per render più semplice la descrizione di queste macchine, la divideremo in due parti.

Nella prima tratteremo del *meccanismo col quale viene trasmesso e regolato il movimento*; nella seconda della *distribuzione del vapore*.

1.° *Del meccanismo col quale viene trasmesso e regolato il movimento.*

Il meccanismo comprende il *cilindro a* (*Tav.* VII, *Fig.* 217), *lo stantuffo b*, la cui asta *c* traversa la *ghiera a sfregamento d*, (*boite à étoupes* de' Francesi), il *bilanciere e f g*, l'*asta* o *biella h*, la *manovella i*, l'*albero rotante k* ed il *volano l*, che è montato sull'albero *k*, e che gira con lui.

Quando il bilanciere oscilla intorno al suo asse *f*, le sue estremità descrivono degli archi di cerchio $e' e''$, $g' g''$, ed affinchè l'asta dello stantuffo non sia deviata e costretta a percorrere l'arco $e' e''$, essa è articolata al bilanciere per mezzo di un sistema di aste, ossia leve, mobili le une sulle altre, le quali costituiscono col loro insieme il così detto *parallelogrammo di Watt*. Si dimostra in meccanica che il parallelogrammo di cui si tratta gode infatti di questa proprietà. L'asta o biella *h* è semplicemente articolata all'estremità *g* del bilanciere, perchè non v'ha alcun inconveniente che percorra l'arco $g' g''$.

Esaminiamo come avrà luogo la comunicazione del movimento, nel caso di una macchina a doppio effetto, cioè a dire di una macchina in cui il vapore agisce tanto al disotto che al di sopra dello stantuffo per farlo salire e discendere. Prendiamo lo stantuffo nel punto in cui è rappresentato nella figura; il vuoto è fatto al di sopra e al di sotto di esso, e si tratta di farlo discendere. Si fa giungere il vapore in alto: se il cilindro fosse freddo vi si condenserebbe e non produrrebbe alcun effetto; ma noi ammettiamo che sia alla temperatura stessa del vapore, come accade nell'ordinario andamento; allora la pressione del vapore fa discendere lo stantuffo, trascina l'estremità *e* del bilanciere e parimente l'estremità *g* che risale; questa tira l'asta *h*, che agisce sulla manovella e la conduce nella verticale superiore; la manovella a sua volta trascina l'albero del volano ed il volano stesso. In questa posizione, che chiamasi *punto morto superiore*, l'asta *h* essendo in linea retta colla manovella non agisce più per farla girare, ma in

virtù dell'acquistata velocità il volano continua il suo movimento di rotazione e trascina seco la manovella, l'asta, il bilanciere e lo stantuffo stesso, che costringe a risalire. Nulla di meno, se non si distruggesse il vapore al di sopra dello stantuffo, questo per la resistenza che incontrerebbe non potrebbe fare la intiera sua corsa; e poichè mentre si distrugge il vapore al di sopra, se ne fa giungere del nuovo al di sotto, abbiamo una nuova potenza che fa risalire lo stantuffo, non più per l'effetto del volano, che non ha più bisogno di trascinarlo, ma per l'effetto del vapore che lo preme; esso torna ad agire come motore; l'asta del medesimo spinge l'estremità *e* del bilanciere per farla risalire, l'estremità *g* per farla discendere, e conseguentemente la biella, la manovella e il volano stesso; e questo stesso effetto persiste fino al momento in cui lo stantuffo giungendo presso la sommità della sua corsa, la manovella giunge fin presso il *punto morto inferiore:* allora la biella non agisce più per farla girare; è il volano che ridiviene attivo in virtù dell'acquistata velocità; il punto morto è nuovamente oltrepassato, e lo stantuffo comincia a ridiscendere trascinato dal volano. Ma in quel momento nuovo vapore penetrando al di sopra dello stantuffo, questo nuovamente ridiscende in grazia del suo impulso, oltrepassa il punto morto per la potenza del volano, e persiste nel suo movimento alternativo, mentre il volano persiste nel suo movimento continuo.

Tanto nelle macchine a doppio effetto che in quelle a semplice effetto è sull'albero del volano che definitivamente si concentrano tutte le resistenze da vincere. Qualunque sia l'effetto meccanico che la macchina deve produrre, sia che si tratti di macinare del grano, di frangere delle olive, di triturare degli stracci, di fare agire delle seghe ec., è sempre sull'albero che è applicata la resistenza che deve vincere la macchina, sia per mezzo di una ruota dentata, sia di qualunque altro mezzo di trasmissione.

2.° *Dell'apparecchio di distribuzione del vapore.* Questo comprende, come pezzi fissi, i *condotti del vapore* e il *condensatore o*, e come pezzi mobili l'*eccentrico t*, l'*asta dell'eccentrico t'*, il *cassetto q*, la *pompa ad aria* o *pompa dell'acqua calda u*, la *pom-*

pa alimentatrice x, la *pompa d'acqua fredda y*, e il *moderatore a forza centrifuga z*.

Condotti del vapore. Il vapore giunge dal canale *m* (*Tav*. VII, *Fig*. 217), per entrare nel cilindro, ed esce dal canale *n* per andare a distruggersi nel condensatore *o*, che è posto al disotto del cilindro. Il canale *n* non deve mai essere in comunicazione col canale d'arrivo, nè colla *scatola del cassetto* o spazio *m' m'*, dove il vapore si spande liberamente; la chiave *m''*, simile ad una chiave di stufa, avendo soltanto l'oggetto di moderarne più o meno l'ingresso. Il cilindro non è fornito in alto che di una sola apertura *p*, per la quale deve entrare il vapore per agire, e per la quale esso deve uscire per andare al condensatore. Parimente non v'è in basso che una sola apertura *p'* per l'ingresso e per l'egresso. Sembra adunque difficile di ottenere che il vapore entri e sorta dallo stesso orifizio, senza che vi sia alcuna confusione o alcun miscuglio del vapore che entra col vapore che sorte. Questa difficoltà non è che apparente; il *cassetto* o *valvola di Watt* la risolve nel modo il più semplice ed il più ingegnoso. Chiamasi *cassetto* il lungo segmento di cilindro *q* vuoto, aperto ai due capi, e traversato in tutta la sua lunghezza dall'asta *q'*, che è destinata a dargli un movimento dall'alto al basso e dal basso all'alto. Il cassetto, non è in tutta la sua estensione un mezzo cilindro, ma alle sue estremità è un po' più grande e massiccio, il che costituisce due piani rappresentati da *r* ed *r'* nella figura 218, i quali applicati contro gli orifizi *p* e *p'* li ricuoprono non solo, ma sopravanzano un poco alle aperture. Il cassetto ha poi una tal lunghezza ed è situato in guisa che quando uno dei suoi piani cuopre una delle aperture del cilindro, l'altro pure ricuopre l'altra apertura; e quando invece uno dei suoi piani è situato al di sopra di una di esse l'altro ha pure la stessa situazione. Ciò posto consideriamo il cassetto nella posizione che ha nella figura. Il piano *r* è al di sopra dell'apertura *p*, che comunica così colla scatola *m' m'* del cassetto ed il vapore sgorga al di sopra dello stantuffo; nello stesso tempo il piano inferiore *r'* è al di sopra dell'orifizio *p'*, ed il vapore che trovasi sotto lo stantuffo precipitasi nel condensatore passando dal canale *n*. Il vapore della scatola *m' m'*

non può andarvi a sua volta, perchè n'è impedito dalla parte del dorso del cassetto dalle ghiere a sfregamento s ed s', e dalla parte opposta dal piano r'. Le cose rimarranno in questo stato durante tutto il tempo della discesa dello stantuffo, ma tosto che sarà giunto in basso converrà che l'orifizio p' riceva il vapore e che l'orifizio p comunichi col condensatore. Questo cambiamento si opera facendo scorrere in basso il cassetto, in modo che il piano r si trovi al di sotto dell'orifizio p; allora anche il piano r' si troverà al di sotto dell'orifizio p'. In questa nuova posizione vedesi che il vapore della scatola m' può passare liberamente dallo orifizio p', ed entrare nel cilindro al di sotto dello stantuffo. In alto invece il vapore della camera m' non ha più accesso dall'orifizio p; ma invece, il piano r trovandosi al di sotto dell'orifizio p, permette la comunicazione fra la parte superiore del cilindro ed il canale n che conduce il vapore nel condensatore, mediante il vacuo interno del cassetto. Tutte le difficoltà della distribuzione sono dunque risolute se si giunge a dare al cassetto il movimento in su e in giù di cui noi abbiamo parlato. Questo movimento vien comunicato al cassetto per mezzo dell'*eccentrico* t e della sua asta t'.

L'eccentrico è una specie di puleggia fissa sull'albero del volano, ma il cui centro è al di fuori dell'albero stesso, come è rappresantato nella *Figura* 219. Perciò rapporto all'asse di rotazione l'eccentrico benchè circolare ha dei raggi ineguali compresi fra il raggio massimo, che chiamasi raggio grande, ed il raggio minimo, che chiamasi raggio piccolo. L'asta t' si adatta sull'eccentrico per mezzo di un anello che lo circonda e nel quale gira l'eccentrico; così quando il movimento di rotazione conduce indietro il gran raggio, l'asta è tirata indietro; quando lo conduce innanzi, l'asta è spinta innanzi; quindi la sua estremità prende un movimento in su e in giù, la cui ampiezza è eguale all'eccesso del raggio grande sul piccolo. Questi movimenti sono regolari come quelli della manovella del bilanciere e dello stantuffo, da cui dipendono; ma secondo la posizione dell'eccentrico, sono concordi o discordi. Quando il raggio grande dell'eccentrico è perpendicolare alla manovella, l'asta t' e lo stantuffo sono concordi;

cominciano e finiscono insieme la loro corsa, almeno quando l'asta *t'* è orizzontale, come nella *figura* 217; se invece il raggio grande è parallelo alla manovella trovasi verticale quand'essa pure è verticale, e in conseguenza l'asta *t'* è alla metà della sua corsa quando lo stantuffo è al termine della sua. Per altri angoli i rapporti sono diversi; ma in ogni caso ad ogni giro del volano, cioè a dire ad ogni doppia corsa dello stantuffo, v'ha sempre una doppia corsa dell'asta *t'*. Ciò posto immaginiamo una leva falcata *acb* (*Tav.* VII, *Fig.* 219), la quale giri attorno al punto *c* ed il cui braccio *a* sia governato dall'asta *t'* dell'eccentrico. È evidente che essa ne eseguirà tutti i movimenti; lo stesso accadrà del braccio *b*; e se il punto *b* è posto in rapporto coll'asta *q'* del cassetto, si vede facilmente che il medesimo prenderà un movimento d'alto in basso, i cui periodi saranno perfettamente regolati su quelli dello stantuffo; quantunque possano essere più o meno concordi a seconda dell'angolo del raggio grande dell'eccentrico colla manovella. Per fermare la macchina basta sollevare l'estremità dell'asta *t'* in modo da disimpegnarla dalla leva.

Nelle macchine a doppio effetto, dicesi che la distribuzione si fa a *pieno vapore*, quando l'introduzione del vapore si fa durante tutta la corsa dello stantuffo; dicesi che si fa a *scatto* o a *dilatazione* (*detente* dei Francesi), quando l'introduzione ha luogo durante una sola porzione della corsa. Se si arresta il vapore a $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$ della corsa, si dice che lo scatto comincia da $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$ ec. della corsa, ma nello stesso tempo è di 5, 4, 3, 2, $\frac{3}{2}$, $\frac{4}{3}$ quando si valuta in volumi, poichè il volume del valore diviene 5, 4, 3 ec. volte più grande; ma se si valuta in pressione è di $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ ec., poichè il volume del vapore essendo divenuto 5, 4, 3 volte ec. più grande, la sua pressione è ridotta alla fine della corsa dello stantuffo ad $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{4}$ ec. Perciò in una macchina che agisca colla pressione di 5 atmosfere, la pressione sarà ridotta ad una sola atmosfera, se lo scatto si fa ad $\frac{1}{5}$ della corsa dello stantuffo. I vantaggi dello scatto consistono nell'economia del vapore. Difatti concepiamo due macchine intieramente simili, che agiscano ambedue colla pressione di 5 atmosfere, nella prima delle quali la distribuzione si faccia a pieno vapore, nella seconda

a scatto dopo $\frac{1}{5}$ di corsa. In quest'ultima si consuma un peso di vapore 5 volte più piccolo, e non di meno la pressione media esercitata sullo stantuffo è più di $\frac{1}{5}$ della prima, giacchè questa è di 5 atmosfere durante tutta la corsa, mentre la seconda, che è di una sola atmosfera alla fine della sua corsa, ha un valore di 5 atmosfere durante il primo quinto della corsa, e dei valori compresi fra 5 atmosfere e $\frac{5}{2}$ atmosfere, fra $\frac{5}{2}$ atmosfere e $\frac{5}{3}$ atmosfere, fra $\frac{5}{3}$ e $\frac{5}{4}$ atmosfere, fra $\frac{5}{4}$ e $\frac{5}{5}$ atmosfere, durante il 2.°, il 3.°, il 4.° ed il quinto della corsa; il che dà una pressione di due atmosfere e $\frac{1}{2}$ prendendo solamente la media tra i due punti estremi, ed una pressione più grande prendendo la media tra i punti intermedj, come dovrebbe farsi. Perciò con questo scatto si ottiene un effetto di più di $\frac{1}{2}$ consumando solamente $\frac{1}{5}$ di vapore, il quale non dovrebbe dare che $\frac{1}{5}$ di effetto se non vi fosse vantaggio. Si vede da ciò che con una data pressione e con un dato scatto si può ottenere lo stesso effetto che con una macchina a pieno vapore, con un consumo molto minore di vapore.

Condensatore e pompe ad aria. – La pronta condensazione del vapore è una delle condizioni economiche le più importanti nelle macchine a bassa pressione; è adunque necessario di fare nel condensatore una sufficiente iniezione di acqua fredda. Questa iniezione si potrebbe eseguire periodicamente nei momenti in cui il vapore sorte dal cilindro; non di meno v'ha l'uso di farla continua e di regolarla dando un'apertura più o meno grande al rubinetto *o'*. La pressione atmosferica che si esercita sull'acqua del tino ove raccogliesi l'acqua alimentatrice, la spinge con violenza nel condensatore, ove non v'ha che pochi centimetri di pressione. Il condensatore contiene sempre dell'aria, perchè l'acqua fredda ne contiene e la lascia sviluppare nel vuoto del medesimo, e perchè ne contiene pure l'acqua di alimentazione della caldaja, per cui sviluppasi insiem col vapore. Quest'aria ritarda considerevolmente la condensazione del vapore, e nuoce assai all'azione della macchina. Da ciò la necessità di toglierla. Si giunge a questo intento per mezzo della pompa *u* (*Fig.* 217, *Tav.* VII), detta perciò *pompa ad aria*, la quale serve ad estrarre l'acqua dal condensatore. L'asta *u''* di questa pompa attaccasi alla metà

di un braccio del bilanciere, onde accade che la corsa di questa pompa è eguale alla metà di quella dello stantuffo. L'acqua calda aspirata da questa pompa e che sorte dal condensatore per mezzo della valvola u'' che richiudesi quando la pompa si abbassa, si versa nel tino v', da cui per mezzo di un canale v è condotta alla pompa alimentatrice della caldaja. La *pompa alimentatrice* è una pompa, aspirante e premente, di cui v'' è la valvola d'aspirazione, x lo stantuffo e x'' la valvola di repulsione. Il tubo situato al di là di questa valvola comunica colla caldaja. La *pompa d'acqua fredda* è una pompa aspirante ordinaria, che prende l'acqua in un pozzo o in qualunque altro serbatojo: y è il corpo di questa pompa ed y' il tubo orizzontale della medesima che versa l'acqua nella vasca.

Moderatore a forza centrifuga. – È una specie di losanga articolata (*Fig.* 217), i cui lati superiori z portano delle palle pesanti, mentre che i due lati inferiori z' attaccansi ad un anello che può scorrere sull'asse verticale z''; quando l'anello sale o discende, agisce sopra un sistema di leve che vanno a chiudere o ad aprire la chiave m'', che trovasi all'ingresso del tubo d'arrivo del vapore. È in grazia di questo meccanismo che la macchina si regola da per sè: infatti è l'albero del volano che fa girare l'asse verticale z'' e le palle stesse che sono montate su di esso; se va troppo presto, le palle partecipano di questo eccesso di velocità e si allontanano maggiormente, aprono i lati z del losanga, e fanno salire l'anello che li unisce; allora la chiave m'' gira sul suo asse diminuendo l'introduzione del vapore; invece se il volano va troppo lentamente la velocità dell'asse z'' diminuisce, e quindi anche la forza centrifuga delle palle, per cui l'anello ridiscende ed apre la chiave m'', in guisa da accrescere l'introduzione del vapore.

Macchine ad alta pressione. – Le macchine ad alta pressione differiscono pochissimo dalla macchina che abbiamo descritta: se ne distinguono principalmente per essere sprovviste di condensatore. Il cilindro di queste macchine non è ermeticamente chiuso, ed il vapore è spinto nell'aria dopo ogni colpo di stantuffo. È dunque necessario di dare al vapore una

grandissima forza espansiva, essendo necessario che eguagli la pressione atmosferica prima di agire sullo stantuffo. Quindi essa ordinariamente supera le 5 atmosfere, e talvolta giunge sino alle otto o alle dieci atmosfere. Perciò le caldaje di queste macchine debbono essere più resistenti, e si costruiscono con ferro battuto o con rame. Le macchine ad alta pressione essendo composte soltanto di una caldaja, del cilindro, dello stantuffo e delle valvole, sono più semplici ed infinitamente meno costose di quelle di Watt; e vanno meno soggette a guastarsi. Esigono però onde agire una quantità enorme di combustibile. Per questo motivo sono principalmente usate nelle miniere di carbon fossile e nei luoghi ove il combustibile è molto abbondante. Si applicano anche alle locomotive perchè in esse è essenziale che la macchina a vapore propriamente detta, occupi il più piccolo spazio possibile.

Misura degli effetti delle macchine a vapore. – Si è convenuto di calcolare gli effetti delle macchine a vapore, paragonando la loro forza a quella di un cavallo. Si è determinato coll'esperienza, che la potenza meccanica di un cavallo poteva rappresentarsi con 75 chilogrammi inalzati ad un metro di altezza in un secondo. Questa unità di forza dicesi *caval-vapore*. Perciò una macchina a vapore della forza di dieci cavalli è capace d'inalzare 750 chilogrammi a un metro di altezza in un secondo. Si costruiscono spesso delle macchine a vapore della forza di 100 e 200 cavalli; la macchina la più potente che sia stata costruita, è stata quella della forza di 500 cavalli. Non bisogna dimenticare che calcolando la forza di una macchina a vapore col paragonarla a quella di un cavallo, si suppone che la macchina lavori lo stesso tempo che un cavallo, cioè a dire otto ore al giorno; ma la macchina a vapore può agire durante tutte le 24 ore del giorno; ond'è, che sotto questo aspetto, il potere di una macchina è tre volte maggiore di ciò che ordinariamente si considera.

Macchine locomotive. – Una locomotiva si compone di una caldaja e di due cilindri a vapore agenti sotto la pressione di 4 atmosfere e mezzo o di 5, e senza condensazione. Questo insieme riposa sopra un gran quadro o telajo orizzontale, di legno o di ferro, che riposa esso stesso sugli assi di due o

tre paja di ruote. I due cilindri a vapore sono sempre situati simmetricamente nella parte anteriore della locomotiva; ogni stantuffo è fornito di un'asta, ed ogni asta agisce sopra una manovella.

La forza elastica del vapore imprimendo un moto alternativo agli stantuffi, imprime un movimento di rotazione alle ruote motrici, le quali per la resistenza delle rotaje cagionano un movimento di traslazione di tutto il sistema. La velocità dipende dal numero dei colpi di stantuffo e dal diametro delle ruote, giacchè per ogni colpo di stantuffo la ruota fa un giro, e la locomotiva si avanza di tutta la circonferenza della ruota. Le ruote motrici delle locomotive sono sempre due; nelle locomotive pel trasporto dei viaggiatori son più grandi delle altre quattro che servono a render più stabile tutto il sistema. Una macchina locomotiva altro non è in realtà che una macchina a vapore ordinaria ad alta pressione per ciò che riguarda i cilindri, gli stantuffi, le bielle, le manovelle; e non ne differisce particolarmente che per la caldaja, per la disposizione dei pezzi, e specialmente pei moderatori, che è necessario porre a portata del conduttore, onde possa ad ogn' istante e senza sforzo accelerare o ritardare la velocità, ed all'occorrenza spingere il vapore in senso contrario, per distruggere più prontamente la velocità acquistata dall'enorme massa della locomotiva e del convojo. Per dare un' idea di questo insieme così meravigliosamente combinato, prenderemo ad esempio la macchina a sei ruote di Stephenson, che è rappresentata nella *Tav.* VIII dalle *Fig.* 219, 220, 221, 222 e 223. La figura 219 rappresenta l'esteriore di questa macchina; la figura 220 ne rappresenta una sezione longitudinale; la figura 221 ne rappresenta una sezione trasversa che passi dalla cupola dove è attinto il vapore, lungo la linea 1, 1′ della figura 220. La figura 222 ne rappresenta una veduta di faccia dalla parte anteriore, supponendo tolta soltanto la parete estrema 2 2′. La figura 223 è una sezione più grande di uno dei cilindri, onde mostrare la distribuzione del vapore.

Del meccanismo delle locomotive. – Dopo quanto si è detto relativamente al meccanismo delle macchine fisse, basterà

mostrare i pezzi che compongono il meccanismo delle locomotive, per concepire immediatamente il modo col quale agiscono. (*Fig.* 220, *Tav.* VIII) *a* è lo stantuffo, *b* l'asta del medesimo, *c* la biella dell'asse a gomito, *d* l'asse a gomito stesso il quale agisce a guisa di una manovella.

Caldaja e fornello. – Il corpo della caldaja è un cilindro di lamiera di ferro di 2,^{m}5 di lunghezza e del diametro di 1,^{m}2, il quale incastrasi colla sua parte anteriore *e e* nella *cassa del fumo*, e colla sua parte posteriore *e' e'* nella *cassa del fuoco* o *fornello.* La forma della cassa del fumo s'intende colla ispezione delle figure 219, 220, 221. Le due ultime figure fanno vedere che da questo lato il cilindro della caldaja è chiuso da un fondo piano *f*, la cui metà inferiore è traversata da 150 fori eguali vicinissimi fra loro. La forma della cassa del fuoco è rappresentata dalle figure 219, 220, 222; essa ha la stessa apparenza esterna della cassa del fumo, se non che è più profonda nel senso della lunghezza della caldaja, ma internamente ne differisce per varj rapporti: 1.° dal lato della cassa del fuoco, il cilindro che costituisce il corpo della caldaja non ha fondo, ma è semplicemente inchiodato coi suoi margini sulla parete posteriore della cassa medesima; questa cassa è a pareti doppie in *h h'* ed in *g*, e l'acqua penetra tra le pareti, dimodochè il fornello è circondato da ogni lato da acqua, eccettuato nel fondo e nel punto in cui è posto lo sportello. La porzione di parete semplice della cassa del fuoco, che fa da fondo al corpo della caldaja, è traversata da tanti fori, quanti ve ne sono nel fondo anteriore del corpo della caldaja, e questi fori si corrispondono esattamente. Dei tubi di ottone *g'*, di una conveniente lunghezza e di un diametro esterno di 4 centimetri, sono aggiustati in tutti questi fori, e stabiliscono così una comunicazione fra il fornello e la cassa del fumo. L'acqua della caldaja circonda tutti questi tubi. La combustione si fa nel fornello sulla graticola *i*, attraverso le sbarre della quale penetra l'aria che deve avvivare la combustione. I prodotti infiammati di questa si precipitano dai 150 tubi verso la cassa del fumo e fuggono dal tubo o cammino *i''*. Ma l'aspirazione di questo, attesa la sua brevità, necessaria pel passaggio dei ponti e dei tunnel, sa-

rebbe debolissima, se non vi si fosse provveduto col dirigere nel camino stesso un vivo getto di vapore per mezzo del tubo di scappamento j (*Tav.* VIII, *Fig.* 220). Questo getto spinge dinanzi a sè colla considerevole velocità da cui è animato i prodotti della combustione, già animati di una certa velocità, e tende per conseguenza colla formazione del vuoto dietro di sè, a far correre più rapidamente l'aria esterna al fornello ed attraverso la massa in combustione. Con siffatta aspirazione artificiale la locomotiva può ardere un quintuplo di combustibile, e produrre quindi una quantità di vapore cinque volte più grande, che non produrrebbe senza tale artifizio. Una chiave j'' serve a regolare questo getto. È quasi superfluo osservare che i vantaggi della descritta *caldaia tubulare*, consistono nell'avere una grande superficie di riscaldamento con poco peso e poco volume.

Distribuzione del vapore. Il vapore prodotto si porta naturalmente nella parte superiore della caldaja, e va ad occupare lo spazio compreso fra la superficie dell'acqua e la parete superiore della caldaja medesima. La superficie dell'acqua è un poco al di sopra del livello della volta gg del fornello. La caldaja è fornita superiormente nella sua parte posteriore di una specie di cupola di ottone k, di modo che il vapore prodotto riempie anche questo spazio. Presso la volta di questa cupola sbocca il canale k' destinato a condurre il vapore della caldaja nell' interno dei cilindri. Questo canale imbocca coll'altra sua estremità nel serbatojo k'', che prolungasi nel tubo m, il quale al di fuori del fondo f si divide a diritta e a sinistra nei tubi m' e m'' (*Tav.* VIII, *Fig.* 221) i quali comunicano coi cilindri. Il vapore che tende ad inalzarsi si porta sotto la cupoletta, e là trovando aperto il tubo k' vi si precipita per discendere verso i cilindri. È facile intendere l'ufficio della cupoletta: senza di essa la vivacità dell'ebullizione e le scosse della macchina farebbero sì che moltissima acqua allo stato liquido entrasse nel tubo k', il che diminuirebbe molto l'effetto. Al serbatojo k'', è unito un regolatore l, che lascia aprire in totalità o in parte, o chiudere affatto l'orifizio per cui esce il vapore. Per mezzo di una leva l', che vedesi sul davanti del focolare, il conduttore regola questo apparecchio.

La distribuzione del vapore nei cilindri si fa qui più semplicemente che nelle macchine fisse. Vedesi chiaramente nella *figura* 220, e più in grande nella *figura* 223. I due orifizj *p* e *p'* del cilindro comunicano per mezzo di canali coi fori rettangolari o finestre *n n'*. L'apertura del mezzo *o* è quella dello sgorgo del vapore, la quale comunica col tubo di efflusso *j*. Un sol cassetto *q*, fornito dell'asta *q'* scorre sulle aperture *n* ed *n'*. È una specie di cassetta rettangolare fornita dei margini *r* ed *r'* convenientemente larghi. L'interno del cassetto cuopre presso a poco i due fori insieme: quando è nella posizione indicata dalla figura, il vapore entra da *n'*, perchè il canale d'arrivo *m''* comunica colla camera nella quale si muove il cassetto; nello stesso tempo dal di sotto del cassetto il vapore esce dall'apertura *n*, per passare dall'apertura *o* nel tubo di sgorgo *j*: accade l'inverso quando il cassetto ricuopre contemporaneamente *o* ed *n'*.

Movimento del cassetto. Il movimento del cassetto si fa come nelle macchine fisse per mezzo di eccentrici, con questa differenza che nelle locomotive l'asse a gomito rimpiazza l'albero del volano. Si concepisca dunque un eccentrico circolare, fisso sull'asse delle ruote motrici; si concepisca inoltre un asse fornito di due braccia o leve perpendicolari alla sua lunghezza, una delle quali riceva l'azione dell'asta dell'eccentrico, l'altra la trasmetta all'asta del cassetto, e si avrà una idea di questo meccanismo, che è completamente analogo a quello della macchina fissa. Ma v'ha un'altra condizione indispensabile: è necessario che il conduttore possa subitamente, a un dato momento, mandare il vapore in senso inverso. Ciò presentava un'assai grande difficoltà a motivo della rapidità del movimento dello stantuffo. Ecco come Stephenson l'ha risoluta. Egli ha stabilito due eccentrici e due aste per ogni cassetto: i due eccentrici sono disposti in senso inverso, in modo cioè che il raggio grande dell'uno corrisponda al raggio piccolo dell'altro; ne resulta che i movimenti delle due aste sono inversi, e quando una spinge, l'altra tira a sè. Ciò premesso, concepiamo il cassetto a metà della sua corsa e mosso dall'asta di uno degli eccentrici, ed immaginiamo che ad un tratto si stacchi quest'asta per fare agire l'asta dell'altro

eccentrico: è evidente che il cassetto dovrà tornare indietro, e conseguentemente il vapore sarà spinto in senso contrario; ciò non impedirà alla locomotiva di proseguire la sua strada, e alle ruote di proseguire a girare nello stesso senso, in virtù dell'acquistata velocità; ma questo andamento dicesi a *contro vapore*, perchè tutta la potenza del vapore è applicata a distruggere il movimento della locomotiva per imprimerle il movimento contrario. Si fa dunque il cambio del movimento dello stantuffo per arrestare più prontamente le locomotive nei casi pressanti, e si fa ancora quando si vuol far rinculare la locomotiva. Tutta la difficoltà adunque consiste nello staccare le prime aste per mettere in azione le seconde, e compiere questa inversione con un tal mezzo che non esiga che un sol movimento del conduttore. Si è giunti a questo intento per mezzo di un meccanismo, che quì sarebbe troppo lungo descrivere.

Sulle figure 219 e 220 vedonsi: il fischio *w* della macchina, la valvola di sicurezza *w'*, e l'orifizio *w''*, che è detto *foro d'uomo*, perfettamente chiuso da un coperchio metallico fissatovi sopra. Per mezzo di quest'orifizio si può entrare nella caldaja per ripulirla. La valvola di sicurezza delle locomotive invece di esser carica di pesi, i quali sarebbero spostati dalle scosse della locomotiva, è tenuta fissa per mezzo di molle, di cui si è precedentemente misurato e graduato l'effetto.

Alimentazione. L'alimentazione della caldaja si opera per mezzo di due pompe aspiranti e prementi, una per ogni lato, lo stantuffo delle quali riceve il movimento in su è in giù dall'asta dello stantuffo della macchina. Questa pompa prende l'acqua nel *tender* per mezzo del tubo *b'* (*Tav.* VIII, *Fig.* 220); un robinetto *b''* posto sotto la mano del fuochista, serve a regolare l'alimentazione. Il livello dell'acqua nella caldaja è indicato da un tubo di livello, che è posto sotto gli occhi del fuochista, e da due robinetti situati, l'uno al di sopra del livello, il quale quando apresi, deve dare del vapore, e l'altro al di sotto, che deve dare dell'acqua.

Il *tender*, o frugone d'approvvisionamento, è un carro a quattro ruote, unito alla macchina per mezzo della caviglia *c'*

contiene dell'acqua in una vasta cassa colla quale comunica il condotto b'; questa cassa occupa posteriormente tutta la larghezza del carro, ma anteriormente non ha che due ali, fra le quali v'ha uno spazio che serve di magazzino al carbone. Un piano di lamiera cuopre l'intervallo tra la cassa dell'acqua e la locomotiva; di modo che il conduttore ed i fuochisti hanno così per le loro manovre uno spazio assai considerevole.

Impiego del vapore come mezzo di riscaldamento. Abbiamo veduto che i vapori quando si formano assorbono una grande quantità di calore necessaria alla costituzione del loro stato, e che questo calore si svolge in totalità quando essi si condensano. È facile adunque concepire come la condensazione dei vapori possa servire qual mezzo di riscaldamento. È sempre il vapore acquoso che serve a quest'uso. Formasi in caldaje analoghe a quelle che impiegansi per le macchine a vapore, e si fa giungere per mezzo di canali nel luogo in cui trovansi i corpi che voglionsi riscaldare. Ponendo il vapore in contatto diretto di questi corpi, ovvero facendolo circolare in canali che li circondino, esso condensasi, e il calore che si sviluppa per questa condensazione scalda i corpi.

Questa maniera di riscaldamento può essere adoprata per riscaldare i bagni e i tini ove pongonsi in infusione le materie coloranti nelle tintorie, per evaporare i liquidi, per riscaldare l'aria degli appartamenti, delle stufe, dei seccatoj ec. Quando i liquidi che devono esser riscaldati possono senza inconveniente esser mescolati all'acqua, si fa passare il vapore attraverso il liquido. In caso diverso si fa circolare intorno al vaso che contiene il liquido, solamente in un doppio fondo, ovvero si situa nell'interno del vaso un tubo, ordinariamente disposto a serpentino, che si fa percorrere dal vapore. Nel primo caso, il tubo che conduce il vapore deve farsi pescare profondamente nella massa liquida, e la sua estremità dev'essere molto resistente, senza di che sarebbe schiacciato, rotto e spezzato dal vuoto che producesi nell'istante in cui il vapore si condensa. Il vapore che giunge all'estremità del tubo dotato della temperatura di 110° o 120°, si gonfia da principio formando delle bolle, ma vien tosto condensato dal raffredda-

mento che subisce, ed il liquido precipitasi a riprendere il posto che il vapore occupava. Da ciò nasce il rumore assordante che si produce in questa maniera di riscaldamento, e lo schiacciamento al quale l'estremità del tubo è esposta. Pel riscaldamento dei gas si adopra un processo analogo a questo.

Il riscaldamento a vapore è spesso economico, perchè con una sola caldaja a vapore, e quindi con un sol fornello, si può scaldare un gran numero di masse liquide o d'aria molto lontane fra loro, le quali altrimenti esigerebbero spesso ciascuna un fornello. Un riscaldamento a vapore di rimarchevole economia l'abbiamo in Toscana nell'industria dell'estrazione dell'acido borico. I fumajoli, che sgorgando dal suolo trascinano secoloro questo prodotto sono dotati di una temperatura di 100°. Una porzione di essi si fa passare attraverso l'acqua di certe vasche, la quale si carica del loro acido borico; un'altra porzione è trasportata per mezzo di canali di terra al di sotto delle caldaje ov'è posta ad evaporare l'acqua che si è saturata d'acido borico. In questo modo l'evaporazione non costa nulla, e mentre prima, quando operavasi colla combustione delle legna, l'industria dovè soccombere per mancanza di vantaggio, è oggi divenuta una sorgente importante di ricchezza pel nostro paese.

3.° *Della propagazione del calore.*

Il calorico può trasmettersi da un corpo ad un altro in due modi distinti: 1.° *per irraggiamento*, quando i corpi fra i quali la trasmissione del calore ha luogo sono più o meno lontani fra loro; 2.° *per comunicazione* quando questi corpi sono fra loro così vicini che le loro molecole si toccano.

1.° *Propagazione del calore per irraggiamento.* Se si prende una palla di ferro infuocata e si sospende in mezzo ad una stanza, da ogni parte intorno ad essa ricevesi un impressione di calore, mentre che l'aria che la circonda conserva presso a poco la sua temperatura primitiva. La palla adunque lancia da tutti i suoi punti e in tutte le direzioni del calorico, il quale traversa l'ambiente per non arrestarsi che su dei corpi capaci di assorbirlo. Il sole, a guisa di questa palla,

lancia esso pure da tutti i suoi punti del calore, il quale si propaga nello spazio, e non è assorbito che dai pianeti che incontra, come per esempio dalla terra. Il calor solare traversa la nostra atmosfera, e non è da essa assorbito che in picciol grado, mentre lo è intieramente dalla superficie terrestre. Ciò che abbiamo detto della palla infuocata e del sole, può applicarsi a tutti i corpi caldi. Ogni corpo caldo lancia nello spazio da tutte le parti il suo calore, il quale a guisa della luce è capace di traversare certi corpi e di essere assorbito da altri. Secondo quella ipotesi che considera il calore siccome un fluido le cui particelle muovonsi con grandissima velocità seguendo la linea retta, da tutti i punti della superficie di un corpo caldo irraggiante partonsi tanti filetti di particelle calorifiche, o, come più ordinariamente si dice, tanti *raggi calorifici.* Egli è per questa ragione che il calorico lanciato nello spazio da un corpo caldo, dicesi *calorico raggiante.*

Proprietà del calorico raggiante. Il calorico raggiante si spande non solo nell'aria, ma ben anche nel vuoto. Rumfort l'ha provato con un barometro terminato da un palloncino, nel mezzo del quale era situata la palla di un termometro (*Tav.* VIII, *Fig.* 224). Il vuoto più perfetto era in quel palloncino; eppure non appena gli si accostava un corpo caldo, il termometro dava segni d'inalzamento di temperatura; prova evidente che il calorico si trasmetteva al termometro attraverso il vuoto. Le proprietà del calorico raggiante sono state studiate nell'aria, perchè è in mezzo a questo fluido che ordinariamente si spande. Sarebbe stato troppo difficile e di assai minore importanza studiarle nel vuoto.

L'intensità del calorico raggiante varia in ragione inversa del quadrato della distanza dalla sorgente. Infatti se si pone dinanzi ad una delle palle di un termometro differenziale una sorgente qualunque di calore, mentre l'altra palla è difesa da un tramezzo, e si fa variare la distanza di questa sorgente calorifica, si osserva che le quantità di calore ricevute variano con la legge enunciata.

Questa legge può anche dimostrarsi col ragionamento, ammettendo che nella trasmissione non vi sia perdita di calore.

Infatti descriviamo intorno ad un centro d'irraggiamento, due sfere concentriche con dei raggi R ed R' (*Tav.* VIII, *Fig.* 225), e prendiamo su ciascuna di esse la stessa estensione m: ogni sfera intercettando tutti i raggi, le quantità di calore che giungeranno sull'estensione m alle distanze R ed R' saranno evidentemente nel rapporto della superficie m alle superfici delle sfere, i cui raggi sono R ed R'. Quindi designando queste quantità con T e T', si avrà

$$T : T' : : \frac{m}{4\pi R^2} : \frac{m}{4\pi R'^2} = \frac{1}{R^2} : \frac{1}{R'^2}$$

L'intensità del calorico raggiante è proporzionale all'estensione della superficie che irraggia. Questa legge può dimostrarsi colla esperienza, presentando ad egual distanza al termoscopio di Leslie una serie di cubi di latta, pieni tutti di acqua calda, i quali non differiscano che per l'estensione delle loro facce. Gl'inalzamenti di temperatura che presenta il termoscopio crescono al crescere della estensione della superficie dei cubi.

L'intensità dei raggi calorifici emessi da una superficie qualunque di un corpo diminuisce colla inclinazione di questa superficie. Infatti, se si presenta una superficie riscaldata (*Tav.* VIII, *Fig.* 226), MN ad uno specchio sferico metallico XY al cui fuoco sia situato il bulbo di un termoscopio (1) e s'interpongono fra lo specchio e la superficie irraggiante, due diaframmi traversati da due aperture eguali o ed o', in modo che il fascio dei raggi che giunge allo specchio sia racchiuso in un cilindro orizzontale avente per base l'orifizio o, il termoscopio salirà di una certa quantità; se allora s'inclina la superficie raggiante MN, la porzione di questa superficie che manderà dei raggi allo specchio sarà $A'B'$ maggiore di AB. Pertanto si vede che il termoscopio non cambia; bisogna adunque necessariamente che l'intensità dei raggi calorifici diminuisca pro-

(1) Vedremo in breve che l'ufficio degli specchi sferici si è quello di concentrare in un punto chiamato *fuoco* tutti i raggi calorifici che cadono sulla sua superficie, sicchè se in quel punto si situa il bulbo di un termoscopio si hanno forti segni di riscaldamento.

porzionalmente all'aumento di superficie raggiante prodotto dalla sua inclinazione, e che in conseguenza la quantità di calore emessa obliquamente da una superficie sia eguale a quella che sarebbe emessa normalmente dalla sua projezione. Resulta da questa legge, che se si ha un cilindro (*Tav.* VIII, *Fig.* 227), tagliato da un piano qualunque, la quantità di calore che proviene dai raggi emessi dalla base *AB* del cilindro è costante, qualunque sia la sua inclinazione, sia dessa rappresentata da *A'B'* o da *A''B''*. Se ne deduce parimente che una sfera riscaldata emette in una data direzione lo stesso calore che emetterebbe uno dei suoi grandi circoli. Se la legge enunciata non esistesse, non si potrebbe stabilire l'equilibrio di temperatura nei corpi situati in uno spazio compreso entro un recinto formato di pareti dotate di una temperatura costante. Infatti i raggi emessi dalla superficie *AB* di un corpo, tanto più si avvicinano quanto più sono inclinati (*Tav.* VIII, *Fig.* 228); perciò se la loro intensità fosse costante, i corpi che riceverebbero i raggi molto inclinati si scalderebbero molto più degli altri, e a seconda della loro forma e della loro posizione cangerebbe la loro temperatura nello spazio supposto, e ve ne sarebbero alcuni dotati di un'altissima temperatura, mentre altri sarebbero freddi.

Velocità del calorico raggiante. Se si pone ad una certa distanza da uno specchio sferico un corpo caldo irraggiante, e si situa tra di essi un diaframma, e quindi ad un tratto si toglie, l'intervallo di tempo che separa l'istante in cui vien tolto il diaframma dall'istante in cui il termometro posto al fuoco dello specchio comincia a sollevarsi, non è minimamente apprezzabile, ancor che la distanza fra il corpo caldo e lo specchio sia considerevole, purchè però sia tale che il primo possa sempre influire sul secondo. L'esperienza è stata fatta ad una distanza di circa 23 metri. È dunque grandissima la velocità della trasmissione del calorico raggiante. Ciò potrebbe anche dedursi dall'osservare che il calorico che accompagna la luce si muove colla stessa velocità. I raggi luminosi lanciati dal sole percorrono 700,000 leghe per minuto secondo, perciò è colla stessa velocità che si muovono i raggi calorifici che li accompagnano. Non si potrebbe però affermare che il calo-

rico oscuro si muova colla stessa rapidità; e benchè resulti dalle esperienze ora citate che la sua velocità è grandissima, siccome le distanze alle quali queste esperienze sono state fatte sono estremamente piccole rispetto alla distanza del sole, potrebbe esservi un'enorme differenza tra la velocità del calorico luminoso e quella del calorico oscuro, senza che fosse apprezzabile nelle esperienze in questione.

Riflessione del calorico raggiante. La proprietà più rimarchevole del calorico raggiante, si è quella di muoversi in linea retta, e di esser riflesso dalle superfici levigate in modo *che il raggio incidente ed il raggio riflesso sono ambedue in un piano perpendicolare alla superficie riflettente ed egualmente inclinati sulla normale.*

La dimostrazione di questo principio riposa sopra una proprietà degli specchi sferici. Chiamansi *specchi sferici* le superfici sferiche di metallo o di vetro che servono a concentrare in un punto dei raggi luminosi o calorifici. Sia *MN* (*Tav.* VIII, *Fig.* 229), una sezione trasversale di uno di questi specchi. Sia *C* il centro della sfera a cui lo specchio appartiene, che dicesi *centro di curvatura*, *A* il punto di mezzo dello specchio denominato *centro di figura;* la retta *AB* che passa per questi due punti è *l'asse principale* dello specchio. Per applicare agli specchi sferici le leggi della riflessione sulle superfici piane si considerano come formati da un infinito numero di superfici piane infinitamente piccole, nella quale ipotesi si dimostra colla geometria che le normali a queste piccole superfici concorrono tutte nel centro di curvatura, ossia sono i raggi della sfera a cui lo specchio appartiene. Ciò posto, suppongasi collocata sull'asse *AB* dello specchio *MN*, una sorgente calorifica abbastanza lontana perchè i raggi *EK*, *PH ec.*, da essa emanati si possano considerare paralleli fra loro. Per l'ipotesi premessa che lo specchio sia formato da un infinito numero di piccoli elementi piani, il raggio *EK* si riflette sull'elemento *K*, precisamente come sopra uno specchio piano, cioè essendo *CK* la normale a questo elemento, il raggio prende una direzione *KF*; tale che l'angolo *CKF* è eguale all'angolo *CKE*. Siccome gli altri raggi *PH*, *GI*, *ec.* si riflettono nella stessa guisa, così tutti questi raggi dopo

la loro riflessione concorrono sensibilmente in un punto F situato alla metà di AC. Adunque in F succede una concentrazione di raggi calorifici, e per conseguenza un inalzamento di temperatura maggiore che in ogni altro punto. A questo punto fu dato il nome di *Fuoco de' raggi paralleli* o di *Fuoco principale*. Quivi concentransi i raggi solari che si fanno cadere sugli specchi sferici.

Ma se invece di raggi paralleli, si avessero dei raggi calorifici divergenti emananti tutti da un punto A situato sull'asse principale dello specchio al di là del centro di curvatura del medesimo, si dimostra cogli stessi principj che i raggi riflessi riunisconsi tutti in un punto E, situato pure sull'asse dello specchio, al di là del fuoco principale, e questo punto dicesi *Fuoco del punto A*. Si può determinare la posizione di questo punto situando un lume nel punto A, e cercando nello spazio, davanti allo specchio, con un pezzo di carta, il punto in cui si ottiene una immagine distinta del lume.

Ciò premesso, se dinanzi ad uno specchio sferico MN (*Tav.* VIII, *Fig.* 230), si situa un corpo caldo K e nel fuoco determinato un termometro, questo s'inalza rapidamente, mentre quelli che si ponessero in avanti, indietro, o lateralmente al fuoco, non proverebbero alcuna sensibile variazione; purchè il corpo caldo si trovasse ad una distanza assai grande dal termometro per non esercitare alcuna diretta influenza su di lui. Resulta evidentemente da ciò, che lo specchio concentra nel proprio fuoco il calore che riceve dal corpo caldo; e siccome ciò non può aver luogo se non quando il calore si muova in linea retta e si rifletta contro la sua superficie, in un piano normale, sotto un angolo di incidenza eguale all'angolo di riflessione, ne segue necessariamente che il calorico raggiante gode di questa proprietà. I movimenti dell'aria non alterano minimamente quelli del calorico raggiante, giacchè se si stabilisce una corrente d'aria dinanzi lo specchio, gli effetti precedenti non sono turbati.

Per rendere molto sensibili le variazioni della temperatura del fuoco dello specchio, e specialmente perchè le indicazioni dello istrumento sieno indipendenti dalle variazioni di temperatura dell'aria ambiente, si situano ordinariamente nel

fuoco degli specchi, o il *termoscopio di Rumfort* o il *termometro differenziale di Leslie*, istrumenti già da noi descritti. Questi istrumenti indicando soltanto la differenza di temperatura delle due palle, se si situano in modo che una di esse sia al fuoco dello specchio, essendo l'altra sottoposta soltanto all'azione dell'aria, indicheranno sicuramente le più leggiere differenze fra la temperatura dell'aria e quella del fuoco; inoltre le loro indicazioni saranno proporzionali alle quantità di calore che ricevono.

Le esperienze relative alla riflessione del calorico raggiante si fanno in un modo molto più decisivo per mezzo di due specchi sferici. Supponiamo di avere due specchi metallici concavi *MN* e *M' N'* (*Tav.* VIII, *Fig.* 231), posti l'uno in faccia all'altro in modo che i loro assi si confondano. Se si pone un corpo caldo, ossia un centro d'irraggiamento calorifico, al fuoco principale *F* di uno di questi specchi, i raggi calorifici che ne emanano saranno riflessi parallelamente gli uni agli altri dalla superficie dello specchio *MN*, facendo un angolo di riflessione eguale all'angolo d'incidenza, e anderanno ad incontrare la superficie dell'altro specchio, che li rifletterà colla stessa legge, in modo da riunirli o *convergerli*, come si dice, al fuoco *F'* dello specchio *M' N'*. Per questa disposizione i raggi concentrati sono molto più numerosi che coll'impiego di un solo specchio. Posto ciò, se al fuoco *F'* situasi un termometro o un termoscopio, avremo segni fortissimi d'inalzamento di temperatura, mentre che allontanandolo da questo punto si abbasserà anche quando si avvicina al corpo caldo posto in *F*.

Queste esperienze sulla riflessione del calorico raggiante sono dovute a Pictet. Questo fisico cominciò col porre al fuoco *F* una candela accesa; tosto la palla del termometro posto all'altro fuoco fu illuminata, e la colonna termometrica ascese. In questa esperienza il termometro riceve contemporaneamente l'emanazione luminosa e l'emanazione calorifica. Se fra i due specchi s'interpone un tramezzo di vetro, i raggi della luce lo traversano, ma quelli del calore sono arrestati, almeno in parte, dimodochè nel momento che s'interpone il tramezzo si vede abbassare il termometro, benchè la sua palla continui

ad essere illuminata dal passaggio dei raggi luminosi. Pictet pose in seguito al fuoco dello specchio M un corpo caldo oscuro, come per esempio un pallone d'acqua calda, e pose un termoscopio sensibilissimo al fuoco dello specchio opposto. Il termoscopio salì nell'istante. Sostituendo in seguito al pallone d'acqua calda una palla di ferro scaldata al rosso vivo, produsse al fuoco F' un calore così forte da potervi accendere un pezzo d'esca.

Potere emissivo o irraggiante. Dicesi potere emissivo o irraggiante la facoltà che hanno i corpi di lanciare intorno di loro, in tutti i sensi, il calore di cui sono dotati. Questa proprietà appartiene indistintamente a tutti i corpi. Noi l'abbiamo osservata, sia in quelli talmente riscaldati da esser luminosi, come in quelli caldi ma oscuri. Potrebbe dimostrarsi che esiste nei corpi a qualunque temperatura; che sono dotati di potere emissivo, l'acqua all'ordinaria temperatura, il ghiaccio, il mercurio congelato; infine tutti i corpi comunque sieno freddi. In quelle esperienze nelle quali abbiamo costatato il potere emissivo, la temperatura del corpo era sempre superiore a quella dell'ambiente, e quindi i suoi raggi calorifici concentrandosi al fuoco dello specchio agivano in modo evidente sugl'istrumenti termometrici. Non sarebbe difficile concentrare egualmente anche i raggi calorifici del ghiaccio o del mercurio congelato, in modo da ottenere dei segni d'inalzamento di temperatura, operando in ambienti la cui temperatura fosse inferiore alla loro. Operando nelle regioni boreali, ove l'aria è alla temperatura di 45° sotto zero, il ghiaccio darebbe dei segni fortissimi di calore al fuoco di uno specchio di Pictet, ed il mercurio congelato ne darebbe parimente, ma in assai minor grado.

Il fatto dell'irraggiamento del calorico dei corpi freddi si deduce dalla seguente esperienza. Se nell'esperimento dei due specchi di Pictet, invece di un corpo caldo si pone al fuoco di uno degli specchi un corpo freddo, qual sarebbe del ghiaccio, o un miscuglio di neve e sale, si vede abbassare il termometro che è posto all'opposto fuoco. Ciò significa che il ghiaccio e il termometro si sono lanciati reciprocamente il loro calore; quindi ne è avvenuto che il ghiaccio ne ha

ricevuto più di quello che ne abbia emesso, mentre il termometro ne ha emesso più di quello che ne abbia ricevuto, e conseguentemente la sua temperatura ha dovuto diminuire. In principio si spiegò il resultato di questa esperienza, ammettendo l'esistenza dei *raggi frigorifici;* ma il solo ragionamento distrugge questa ipotesi. Il freddo assoluto non ci è noto: un corpo freddo come il ghiaccio è sempre un corpo dotato di assai calore, poichè noi possiamo abbassare ancora assai considerevolmente la sua temperatura, cioè a dire togliergli ancora del calore. Difatti sappiamo che mescolando il ghiaccio a certi sali se ne può abbassare la temperatura fino a — 30°, e giunti a questo punto non gli abbiamo tolto tutto il calore, giacchè con altri mezzi noi potremmo portare assai più in basso la sua temperatura. Ogni giorno scuopronsi nuovi mezzi più efficaci di raffreddamento, ma forse non giungeremo mai a togliere la totalità del calore contenuto in un corpo. Adunque se è certo che ogni corpo, quantunque freddissimo, possiede sempre del calore, con qual fondamento si potrebbe ammettere che emetta dei raggi di freddo? Non sarà egli evidente, che se un corpo freddo ci dà indizi d'irraggiamento, questo sarà dovuto a quel poco di calore di cui è provvisto, e che dovrà certo produrre segni di raffreddamento sopra un corpo che irraggia su di esso una quantità maggiore di calore?

Dall'insieme dei fatti di cui abbiamo fin qui parlato si può concludere che tutti i corpi, qualunque sia la loro temperatura, emettono continuamente del calore, e ne ricevono costantemente dai corpi circondanti; e perciò il raffreddamento ed il riscaldamento dei corpi dipendono da ciò che l'emissione è maggiore o minore dell'assorbimento. Un corpo caldo trasportato in un ambiente freddo, si raffredderà fintantochè la sua temperatura non sarà divenuta eguale a quella dell'ambiente, e intanto l'ambiente si sarà alquanto riscaldato perchè avrà ricevuto dal corpo caldo maggior quantità di calore di quella che gli avrà ceduto. Viceversa un corpo freddo si riscalderà in un ambiente caldo, e questo si raffredderà finchè le temperature dell'uno e dell'altro non sieno divenute eguali. Ma qual sarà lo stato del calore di un corpo la cui temperatura

sarà divenuta stazionaria? Possiamo rappresentarci questo stato supponendo che cessi ogni irraggiamento di calore fra corpo e corpo; possiamo intenderlo ancora, ammettendo che si emetta dal corpo la cui temperatura è divenuta stazionaria una quantità di calore eguale a quella che riceve. Questa ultima ipotesi, conosciuta col nome di *principio dell'equilibrio mobile*, ed immaginata da Prevost, è quella più generalmente accettata.

Influenza della natura della superficie dei corpi sull'emissione del calorico raggiante. Oltre la distanza, l'inclinazione e l'estensione della superficie irraggiante influisce ancora sulla quantità del calore irraggiato da un corpo, la natura del corpo medesimo. I corpi non sono dotati tutti egualmente di potere emissivo. Le differenze che si osservano sotto questo rapporto sembrano dipendere dalla natura della loro superficie. Le ricerche fatte su questo soggetto furono in principio eseguite coll'apparecchio degli specchi concavi ed il termoscopio o il termometro differenziale di Leslie; poscia col termo-moltiplicatore immaginato dal Nobili, ma conosciuto più comunemente col nome di *termo-moltiplicatore del Melloni*, perchè applicato in queste importanti ricerche da questo ingegnoso fisico. Il termo-moltiplicatore non può essere quì descritto, perchè ci mancano le cognizioni sull'elettricità, atte a fare intendere il modo con cui agisce: basti per ora ritenere che la sua sensibilità risiede nella proprietà che possiede una serie di piccole sbarre d'antimonio e di bismuto, saldate alternativamente le une alle altre, di sviluppare per poco che le loro faccie sieno inegualmente riscaldate, una corrente elettrica, la cui intensità è misurata dal movimento di un ago calamitato che gira sopra un quadrante graduato, e il cui grado di deviazione dipende in ogni caso particolare dalla quantità di calore che ha agito su di esso. L'insieme delle sbarre saldate d'antimonio e di bismuto costituisce la così detta *pila termo-elettrica*, e l'apparecchio contenente l'ago calamitato che gira sul quadrante e i fili conduttori che vi trasportano la corrente elettrica, è il *galvanometro*.

Per osservare la diversa facoltà emissiva delle varie superfici, si usa un vaso di latta di forma cubica, le cui faccie

laterali sono ricoperte di differenti sostanze, come carta, nero-fumo, lastre di vetro, lamine metalliche ec. Si pone il cubo pieno di acqua bollente dinanzi ad uno degli specchi di Pictet, e il termoscopio o il termo-moltiplicatore di Melloni al fuoco dello specchio opposto. Si osservano allora le indicazioni di questi istrumenti corrispondenti alle differenti faccie del cubo presentate successivamente allo specchio. Ecco una tavola che indica il potere emissivo o irraggiante di diverse sostanze.

Sostanze	Potere emissivo
Nero-fumo	100
Carta da scrivere	98
Vetro	90
Inchiostro della China	85
Ferro levigato	23
Mercurio	23
Amalgama da specchi	14
Ottone levigatissimo	7
Argento levigatissimo	3

Leslie aveva creduto di potere stabilire da una serie di esperienze, che ad egual temperatura le superfici scabre son quelle che emettono la maggior quantità di raggi calorifici, e che invece le superfici levigate son quelle che ne emettono la minor quantità; ma Melloni ha osservato che questa legge non si verifica che per le superfici metalliche, mentre che pei marmi, pei legni ec., l'influenza della scabrosità è nulla.

Potere riflettente dei corpi. Tutti i corpi non sono egualmente proprj a riflettere il calore. Alcuni, come vedremo in breve, ne riflettono pochissimo e lo trasmettono in gran parte; altri lo assorbono in gran parte e non ne riflettono e trasmettono che una piccola porzione. Per osservare qual'è la facoltà riflettente delle varie superfici, si può alterare la natura della superficie riflettente di uno specchio concavo, ricuoprendola successivamente di lamine metalliche, di nero-fumo, e di strati di qualunque altra sostanza. Le variazioni del termoscopio indicano allora quelle delle facoltà riflettenti. Si osserva per esempio, che ricuoprendo gli specchi di uno strato di nero-

fumo, il termoscopio posto al fuoco di uno di essi non indica alcun cambiamento di temperatura; se ne deduce che il nero-fumo non ha alcun potere riflettente, cioè a dire che assorbe tutto il calore irraggiato sulla sua superficie. In generale le superfici metalliche levigate sono quelle che meglio riflettono il calore. La tavola seguente indica alcuni resultati ottenuti su questo soggetto. In essa il potere riflettente dell'ottone è preso come termine di confronto, ed è indicato con 100.

Sostanze	Potere riflettente
Ottone	100
Argento	97
Stagno	86
Ferro levigato	77
Mercurio	77
Inchiostro della China	15
Vetro	10
Carta da scrivere	2
Nero-fumo	0

Potere assorbente dei corpi. Quando dei raggi calorifici che emanano da un corpo caldo giungono sulla superficie di un corpo freddo, una porzione di questi raggi può esser riflessa, ed un'altra porzione trasmessa o assorbita. Quest'ultima è quella che riscalda il corpo che penetra. Si è dato il nome di *potere assorbente* a questa facoltà che posseggono i corpi di lasciarsi penetrare da una certa porzione dei raggi calorifici che cadono sulla loro superficie.

Le quantità di calore che un corpo assorbe dipendono dalla sua natura e da quella della sorgente calorifica.

Leslie fu il primo ad accorgersi che coprendo di nero-fumo uno specchio, questo cessava affatto di riflettere il calore e lo assorbiva intieramente. Ottenne questo fisico tal resultato coprendo di nero-fumo il bulbo del termoscopio collocato al solito al fuoco di uno specchio sferico, e posto dinanzi a un corpo di una temperatura costante.

I resultati generali dedotti dalle esperienze istituite sull'assorbimento del calorico raggiante sono i seguenti: 1.° i corpi

che assorbono più facilmente il calorico sono pure quelli che lo irraggiano in maggior quantità; 2.° la facoltà riflettente dei corpi è in ragione inversa dell'assorbente e della emissiva.

Il rapporto inverso delle facoltà assorbente e riflettente non è rigorosamente esatto. Si è creduto tale finchè Melloni non ha riconosciuto che v'è per molti corpi una porzione di calore che non si riflette regolarmente, ma invece si disperde alla loro superficie. Perciò tutto il calore che viene a percuotere la superficie di un corpo che non trasmette calore attraverso di sè, non è solamente in parte assorbito e in parte riflesso; ma ben anco in parte disperso. Questa ultima facoltà dei corpi dicesi *potere diffusivo*. Se dessa non esistesse sarebbe esatto dire che la facoltà assorbente è complementaria della riflettente.

La proporzionalità tra la facoltà emissiva e l'assorbente è provata da un'esperienza di Dulong. Il vaso cilindrico *nv* (*Tav.* VIII, *Fig.* 232) che si empie di acqua calda ha una delle basi coperta di nero–fumo, mentre l'altra base è fasciata di metallo lucente. Questo vaso è collocato fra i due bulbi di un termoscopio costituiti di due vasi cilindrici simili al vaso *nv*. Uno di questi vasi *D* guarda con la base coperta di nero-fumo la base metallica del vaso *nv*, l'altro *A* guarda l'altra base del vaso con una base lucente dello stesso metallo del vaso *nv*. L'indice *BC* del termoscopio rimane stazionario allorquando i due bulbi sono egualmente distanti dalle basi del vaso intermedio. La quantità di calore che è emessa dalla faccia lucente del vaso intermedio è di tanto minore di quella che l'altra faccia nera emette, di quanto l'assorbimento della base nera d'uno dei bulbi del termoscopio supera l'assorbimento della base lucente dell'altro bulbo.

Influenza della natura della sorgente calorifica sulla facoltà assorbente dei corpi. Studiando la facoltà assorbente dei diversi corpi per le varie sorgenti di calore, il Melloni ha trovato che per un solo corpo questa facoltà era costante. Questo corpo singolare, che non si lascia traversare dal calore, di cui la diffusione è piccolissima e costante per tutte le sorgenti, che non riflette il calore, ma che lo assorbe interamente è il nero fumo. Gli altri corpi lo assorbono più o meno, e l'assorbimento varia in essi per una stessa quantità di calore, secondo che viene da

una sorgente di cui la temperatura è più o meno alta. Ecco un quadro dei resultati ottenuti dal Melloni, i quali provano che pel solo nero-fumo è costante la quantità dei raggi assorbiti, qualunque sia la sorgente calorifica, mentre è varia per gli altri. Queste esperienze si fanno disponendo le sorgenti a diversa distanza dai corpi che devono assorbire il calore, in modo che giunga sopra tutti la stessa quantità di calore. Se si rappresenta con 100 la quantità dei raggi assorbiti dal nero-fumo, le quantità che ne assorbono gli altri corpi per lo stesso numero 100 di raggi incidenti sono espresse dai numeri del quadro seguente:

Sostanze	Lampada	Spirale di platino incandescente	Lastra di rame a 400°	Acqua a 100°
Nero fumo	100	100	100	100
Carbonato di piombo	53	56	89	100
Colla di pesce	52	54	84	91
Inchiostro della China	96	95	87	85
Gomma lacca	43	47	70	72
Superficie metallica	14	13,5	13	13

Può dirsi in generale che la quantità di calore assorbita è tanto più grande quanto più bassa è la temperatura della sorgente.

I principj da noi ora esposti non sono solamente interessanti sotto il rapporto scientifico; essi conducono ancora a delle numerose applicazioni pratiche. Così, per es., quando vorremo che un liquido caldo si raffreddi nel modo il più lento possibile, converrà tenerlo in un vaso di metallo lucido, piuttosto che in un vaso di terra o di porcellana; e ciò perchè abbiamo visto che le superfici metalliche lucide son quelle che irraggiano meno. Per la stessa ragione i canali metallici destinati a trasportare il vapor d'acqua senza condensarlo, come quelli delle macchine a vapore, devono essere lucidi e risplendenti. Invece i canali nei quali si cerca di condensare il vapore potranno esser ricoperti di uno strato di nero-fumo o di qualunque altra sostanza che irraggi facilmente. Gli stessi

principj servono a spiegarci perchè certe vesti tengono più caldo o più fresco di altre; perchè, per es., gli abiti neri fanno più caldo di altri al sole di estate, mentre sono più freschi all'ombra, specialmente in tempo freddo. Nel primo caso infatti assorbono in troppo grande quantità i raggi calorifici, nel secondo invece irraggiano troppo. Parimente i vestiti bianchi devono essere freschissimi in estate perchè riflettono la maggior parte dei raggi calorifici, mentre che in inverno devono tenere più caldo degli altri perchè irraggiano meno abbondantemente il calore del corpo.

Trasmissione del calorico raggiante attraverso i solidi e i liquidi. Abbiamo detto che il calorico raggiante traversa l'aria senza perdere quasi nulla della sua intensità; ma oltre l'aria esso traversa ancora certi corpi solidi e liquidi. In generale le sostanze trasparenti come l'acqua, il vetro ed il cristallo di monte si lasciano traversare dal calore come dalla luce; ma questa trasmissione non ha luogo senza una perdita notevole dell'intensità calorifica dei raggi, una parte dei quali è impiegata a riscaldare il mezzo trasparente. Si è lunga pezza creduto che il calore fosse da questi corpi assorbito, e quindi irradiato dalla superficie opposta a quella per la quale si era operato l'assorbimento; ma Prevost fu il primo a dimostrare che ciò non avveniva in quella guisa, poichè avendo separato il termoscopio dalla sorgente calorifica per mezzo di una sottile lamina di acqua che scolava da un recipiente, osservò tuttavia l'inalzamento del termoscopio. Ora poichè il liquido di continuo si rinnuovava non poteva supporsi che il termoscopio fosse riscaldato nel modo accennato. Si devono a De la Roche le prime importanti ricerce sulla trasmissione dei raggi calorifici attraverso i corpi. Questo fisico scoprì che quando la sorgente calorifica non ha un calore maggiore di quello dell'acqua bollente, i raggi di calore che ne emanano non si trasmettono in un modo sensibile attraverso una lamina di vetro, e che al di sopra di questa temperatura la quantità di calore che si perde nel passaggio dei raggi calorifici attraverso un diaframma di vetro è tanto più piccola quanto più alta è la temperatura del corpo da cui emanano. Così quando la temperatura di un corpo è di 182° non passa attraverso un diaframma di vetro che $\frac{1}{10}$ del

calore che giungerebbe direttamente; quando la temperatura del corpo è di 346° ne passa $\frac{1}{14}$; infine quando è di 960° ne passa $\frac{1}{3}$ ec. De La Roche osservò pure un altro fenomeno rimarchevole sullo stesso soggetto, cioè a dire che il calore che ha traversato una lamina di vetro, prova nel suo passaggio attraverso una seconda lamina una perdita proporzionatamente molto minore. Per es. una palla di ferro scaldata al rosso scuro faceva salire di 34° un termometro posto a una data distanza; interponendo un diaframma di vetro fra il corpo caldo e il termometro questo non saliva più di 4°, 3; in altri termini il calore trasmesso era eguale a circa $\frac{1}{8}$ del calore totale: interponendo un secondo diaframma di vetro, il termoscopio saliva di 2°, 4, cioè a dire che il calore trasmesso attraverso la 2.ª lamina di vetro era circa la metà di quello che aveva attraversato la prima.

Ma le ricerche le più complete e le più importanti sulla trasmissione del calorico raggiante attraverso i corpi, sono dovute all'illustre nostro compatriotta Melloni. Egli ha chiamato *atermani* i corpi che arrestano il calorico raggiante, come fanno i corpi opachi per la luce; e *diatermani* quelli che si lasciano traversare dai raggi calorifici, nel modo stesso che i corpi trasparenti si lasciano traversare dalla luce. Nelle numerose sue esperienze sulla diatermaneità dei corpi, il Melloni si è servito del termomoltiplicatore del Nobili, come indicatore delle quantità di calore; e come sorgente di calore egli ha adoprato: 1.° una lampada a olio detta di Locatelli (1); 2.° una spirale di platino resa incandescente dalla combustione dell'alcool; 3.° una lastra di rame mantenuta collo stesso mezzo alla temperatura di 400°; infine 4.° un cubo pieno di acqua bollente. Le principali sostanze di cui ha esperimentato la *diatermaneità*, situandole successivamente sul passaggio del calore, consistevano in lamine più o meno grosse di vetro trasparente o affumicato, di lastre di cristallo di monte, di gesso, di allume e di sal gemma. Nella *Fig.* 233, *Tav.* VIII

(1) Questa lampada è formata da un serbatojo che mantiene l'olio ad un livello costante in un piccolo becco rettangolare, nel quale situasi una calzetta cubica: la fiamma di questa lampada è sensibilmente costante, ed è questa la ragione per la quale Melloni l'ha preferita nelle sue ricerche.

vedesi la disposizione degli apparecchi nelle esperienze di Melloni. *B* è il galvanometro, di cui le deviazioni nell'ago servono a indicare l'intensità della corrente che il calorico irraggiato dalla sorgente *E* sviluppa agendo sulla pila termoelettrica *A*. La faccia *b* della pila coperta di nero fumo riceve i raggi calorifici, l'altra *a* è difesa da una specie di coperchio che si chiude a cerniera; *m* ed *n* sono i due fili metallici del galvanometro che comunicano cogli estremi della pila. In alcune esperienze la pila termoelettrica si munisce di uno specchio metallico di forma conica aperto verso il corpo che irraggia il calore. Ecco ora i principali resultati delle esperienze del Melloni.

1.° La quantità di calorico raggiante che traversa delle lastre di vetro della stessa grossezza, è tanto più grande quanto più levigata è la loro superficie.

2.° La quantità di calor raggiante che traversa diverse sostanze diatermane, diminuisce per ciascuna di esse col diminuire della temperatura della sorgente calorifica. Il cristallo di monte, per esempio che trasmette più della metà del calore della lampada di Locatelli, non dà passaggio che al quarto dei raggi provenienti dal platino incandescente, e ad alcuno di quelli provenienti dall'acqua bollente. Non v'ha che una sola sostanza, il sal gemma, che faccia eccezione a questa regola generale, e che si conservi diatermano allo stesso grado per qualunque sorgente calorifica. Qualunque sia la temperatura della sorgente calorifica che si presenti al sal gemma, questo corpo lascia costantemente passare la stessa frazione della quantità di calore della sorgente. Quando il sal gemma è affumicato presenta il singolar fenomeno di lasciar passare tanto più calore quanto più bassa è la temperatura della sorgente.

3.° La natura dei corpi diatermani ha una grande influenza sulla quantità di calore raggiante che può traversarli. Di tutti i corpi esperimentati da Melloni l'allume è quello che ne lascia passar meno. Così per esempio una lamina di allume limpidissima, di un millimetro di grossezza, lascia passare meno calorico raggiante di una lamina di cristallo di monte cento volte più grossa, e comparativamente, quasi opaca. Questo fatto fornisce un esempio rimarchevole della grande differenza

che esiste tra la diafanità ossia trasparenza per la luce, e la diatermaneità ossia trasparenza pel calore. Vi sono molti altri fatti che provano che le sostanze le più diafane sono lungi dall'essere ancora le più diatermane. Una lastra di vetro affumicata in guisa che appena lasci scorgere attraverso di sè il disco del sole, lascia pertanto passare più facilmente il calorico raggiante di una lastra limpidissima di allume. Il vetro nero ed il quarzo affumicato, i quali sono presso che opachi, si lasciano pure traversare dal calorico raggiante.

4.° Il sal gemma, ossia il sal comune cristallizzato, è di tutti i corpi esperimentati il più diatermano. Una lamina di sal gemma lascia passare quasi la totalità, circa i $\frac{92}{100}$, del calor raggiante.

5.° Aumentando la grossezza di una lamina diatermana, la quantità di calore che passa diminuisce; le perdite però che son prodotte decrescono sempre per degli accrescimenti eguali di grossezza. Così per una lamina di vetro, le perdite prodotte da sei accrescimenti successivi di 1^{mm}, per una quantità di calorico raggiante espressa, per esempio, da 100, sono: 26,70, 5,10, 2,90, 1,90, 1,40, 1,15. Il sal gemma fa pure eccezione a questa legge. Esso lascia passare la stessa quantità di calore per delle grossezze variabili fra 2 e 40 millimetri.

6.° De la Roche aveva già osservato che il calor raggiante che ha traversato un mezzo diatermano diviene più atto a traversarne altri; ma il Melloni oltre al confermare questo fatto ha anche dimostrato che opponendo successivamente al passaggio del calor raggiante differenti lamine diatermane, la natura di questo calore è modificata in guisa da divenire più o meno capace di traversare altre sostanze diatermane, a seconda della natura di quelle già traversate. Egli ha, per esempio, osservato, che dei raggi di calore, dopo aver traversato una lastra di allume provavano molto minor perdita, traversando in seguito altri mezzi, di quella che avrebbero subito se avessero traversato una lastra di vetro o di cristallo di monte. Se si sostituisce all'allume del vetro annerito al punto di esser perfettamente opaco, i raggi calorifici che l'hanno traversato, divengono anche meno suscettibili di perdere una nuova porzione del loro calore. Infine una lamina di sal gemma non in-

fluisce minimamente sulla attitudine dei raggi calorifici a traversare i differenti mezzi diatermani; i raggi che hanno traversato il sal gemma agiscono nel modo stesso che se emanassero direttamente dalla sorgente calorifica;

7.° I liquidi sono, come i solidi, inegualmente diatermani. Fra quelli che sono stati sottoposti all'esperienza, il carburo di zolfo è il più diatermano, mentre l'acqua è il meno, non lasciando essa passare che una debolissima quantità di calore, specialmente se la sorgente non è molto calda. Le esperienze di Melloni sulla diatermaneità dei liquidi sono state fatte, racchiudendoli in tubi chiusi da delle lamine di sal gemma, la qual sostanza lasciando passare quasi la totalità del calor raggiante non poteva influire sensibilmente sui resultati dell'esperienza.

Teoria del Melloni sulla costituzione dei raggi calorifici. Dagli accennati resultati, il Melloni ha dedotto che il calorico raggiante, a guisa della luce, non è semplice ed omogeneo. Nel modo stesso che si è costretti a riconoscere l'esistenza di raggi di luce di specie diversa per ispiegare il fenomeno dei colori, si è parimente condotti ad ammettere la esistenza di raggi calorifici di qualità diversa per rendersi conto dei fatti relativi alla diatermaneità dei corpi. Melloni suppone che le diverse sorgenti calorifiche, quali sono per esempio, il sole, la lampada di Locatelli, il platino incandescente, il cubo d'acqua bollente, emettano ciascuna dei raggi calorifici di un gran numero di specie diverse, i quali distinguonsi gli uni dagli altri per la più o meno grande facilità che provano a traversare le sostanze diatermane. Ammettendo questa diversità nella qualità dei raggi calorifici, tutti i fatti relativi alla diatermaneità dei corpi spiegansi facilmente. Così, se una stessa sostanza diviene sempre meno diatermana, a misura che la temperatura della sorgente diminuisce, ciò dipende perchè più questa sorgente è intensa, e più la quantità dei raggi facilmente trasmissibile è considerevole. La sola sostanza, perfettamente diatermana, il sal gemma, il quale lascia passare la stessa quantità di tutti i raggi, cioè a dire quasi la totalità, qualunque sia la natura della sorgente da cui provengono, o del diaframma che hanno traversato,

si comporta, rispetto al calorico raggiante, come il vetro rispetto alla luce, il quale trasmette egualmente tutti i raggi di colore diverso. Ne resulta, come abbiamo visto, che i raggi dopo aver traversato il sal gemma senza subire alcuna sensibile modificazione, si comportano in seguito, passando attraverso altri mezzi, come se emanassero direttamente dalla sorgente calorifica. Quando invece il calor raggiante ha traversato una sostanza che non trasmette che i raggi calorifici di una certa specie, la facilità che avrà a traversare una seconda sostanza di un'altra natura, dipenderà dalla proprietà che possiede questa sostanza di lasciar passare i raggi della stessa specie o quelli di una specie diversa. Così per es. i raggi che hanno già traversato una lamina di allume sono facilmente trasmessi attraverso una lamina di solfato di calce; mentre quelli che sono stati trasmessi attraverso un vetro nero sono tutti arrestati dalla stessa lamina di solfato di calce. E ciò che prova che questo doppio effetto dipende dalla qualità diversa dei raggi si è che quelli che hanno traversato l'allume non possono esser trasmessi attraverso il vetro nero.

2.° *Propagazione del calorico per comunicazione.* Avendo studiato il modo di trasmissione del calorico per via d'irraggiamento, ci resta a studiare il modo con cui il calorico si trasmette fra i diversi corpi che trovansi in contatto immediato gli uni cogli altri, ovvero fra le molecole di uno stesso corpo. La cognizione di questo modo di trasmissione è indispensabile per istudiare le leggi del riscaldamento e del raffreddamento, giacchè quando la temperatura di un corpo differisce da quella di un altro o da quella dell'ambiente, il suo riscaldamento o il suo raffreddamento dipende non solo dai fenomeni di emissione, d'assorbimento o di riflessione che hanno luogo alla sua superficie, ma ancora dal modo più o meno rapido col quale il calore ricevuto si distribuisce nella massa.

Certi corpi hanno le loro molecole disposte in modo da essere più permeabili al calore di altri. Chiamasi *facoltà conduttrice* o *conducibilità*, quella per la quale i differenti corpi, tanto diatermani che atermani, accordano al calore un passaggio più o meno libero, o più o meno rapido da una molecola all'altra. I corpi che si lasciano facilmente traver-

sare dal calore e che prendono rapidamente la temperatura che devono acquistare diconsi *buoni conduttori*; mentre quelli attraverso i quali questo fluido difficilmente si propaga, e che sono più lenti a porsi in equilibrio di temperatura in tutte le loro parti, chiamansi *cattivi conduttori del calorico.*

Esaminiamo successivamente il modo di propagazione del calorico attraverso i solidi, i liquidi e i corpi gassosi.

Propagazione del calorico attraverso i corpi solidi. Nei corpi solidi il calorico si trasmette di strato in strato, diminuendo d'intensità. Si ammette che questa propagazione sia dovuta ad un irraggiamento da molecola a molecola, e che si compia quindi a distanze estremamente piccole, e in modo da estinguersi totalmente per poco che sia grosso l'intervallo fra le molecole o gli strati di un corpo. Per mezzo dell'esperienza si può facilmente acquistare idea del modo con cui il calore si propaga nei corpi solidi. Sia *AB* una sbarra metallica (*Tav.* VIII, *Fig.* 234), sottoposta colla estremità *A* ad una sorgente costante di calore, come per esempio un bagno di piombo fuso. Sulla sua lunghezza trovansi ad eguali distanze delle piccole cavità scavate nella sua grossezza, piene di mercurio, dentro le quali sono situati i bulbi di tanti termometri. La temperatura della sbarra s'inalza da prima successivamente in tutti i punti, ma giunge bentosto un istante in cui la temperatura di ciascuno di essi diviene stazionaria. Se la sbarra non provasse alcuna dispersione di calore, ogni termometro salirebbe gradatamente, finchè non fosse giunto ad acquistare la temperatura della sorgente; ma ciò non accade perchè ha luogo perdita di calore, e pel raggiamento e pel contatto della sbarra col mezzo in cui è posta. I termometri salgono necessariamente più adagio di quello che se la perdita fosse nulla, e non giungono mai alla temperatura della sorgente; si arrestano quando la quantità di calore ricevuta da ciascuna porzione corrispondente della sbarra è eguale a quella che perde pel raggiamento e pel contatto coll'aria. Allora lo stato termometrico della sbarra diviene stazionario, e la temperatura di tutti i termometri si trova decrescente dall'estremità in contatto della sorgente fino all'altra estremità. Inoltre si osserva che se le distanze dei punti, A', A'', A''', ec., in cui sono si-

tuati i bulbi dei termometri dalla sorgente calorifica sono in progressione aritmetica, le temperature di questi punti decrescono in progressione geometrica. Così, se le accennate distanze saranno espresse dai termini $d1$, $d2$, $d3$, $d4$, le temperature corrispondenti potranno essere, essendo 100° la temperatura del punto A, 100, 50, 25, 12,5 ec.; ma la ragione della progressione geometrica colla quale decrescono le temperature dei varj punti di una sbarra metallica dipende dalla conducibilità propria della sbarra e dalla natura della sua superficie. Perciò operando su delle sbarre le cui facoltà irraggianti sieno rese eguali con degli strati di vernice, la ragione della progressione geometrica delle temperature dei termometri non dipenderà che dalla conducibilità della sostanza della sbarra, per cui questa potrà da quella dedursi.

Si vede pure facilmente che la legge enunciata della propagazione del calorico per le verghe metalliche può servire come mezzo termometrico; e come tale fu proposta dal Biot. Infatti una volta che sia determinata la relazione che passa fra la temperatura di una data sorgente e quella che prende il primo termometro posto a una data distanza dalla medesima, e le relazioni fra la temperatura di questo termometro e quella del seguente, le temperature che prenderanno questi due termometri ad un'altra sorgente ci somministreranno i dati per calcolare la temperatura di questa. Si potrebbe su questo principio costruire un pirometro con una verga di un determinato metallo, quando si trovasse un mezzo conveniente per garantire la verga e i termometri dall'influenza del calore irraggiato dalla sorgente.

Il decrescimento del calore in una verga metallica è così rapido, che è impossibile inalzare di un grado la temperatura della estremità di una sbarra di ferro di sei piedi di lunghezza, scaldandola all'altra estremità. Il calore che bisognerebbe applicarvi sarebbe molto più forte di quello che sarebbe necessario per operare la fusione del metallo.

Quasi tutti i corpi solidi differiscono fra di loro sotto il rapporto della conducibilità del calore. Difatti ognun sa, per esempio, che si può tenere in mano un tubo di vetro ad una piccolissima distanza dal punto in cui è scaldato a rosso, men-

tre che se è una sbarra di ferro che è riscaldata a rosso ad una sua estremità, non si potrà tenere in mano che ad una distanza grandissima. Parimente si può senza inconveniente agitare un miscuglio frigorifico con un cucchiajo di legno, mentre non ci potremo servire di un cucchiajo di argento, senza che la mano risenta l'impressione del raffreddamento del metallo. Se toccansi successivamente varie differenti sostanze aventi la stessa temperatura, come per esempio del legno, del marmo ed un metallo, la prima di queste sostanze non sembrerà nè calda nè fredda, mentre il marmo, e specialmente il metallo, faranno provare una sensazione di freddo assai viva. Questa sensazione proviene dalla ineguaglianza del potere conduttore di queste tre sostanze; il legno essendo cattivo conduttore s'impadronisce lentamente del calore della mano, mentre il marmo e il metallo, che sono buoni conduttori se ne impadroniscono rapidamente, e questa rapida sottrazione del calore animale, produce una viva sensazione di freddo.

In generale i metalli sono i migliori conduttori; nondimeno i varj metalli differiscono sotto questo rapporto gli uni dagli altri. Gli ossidi metallici, le pietre, la porcellana, le terre ed il legno sono cattivi conduttori. Il legno particolarmente è un conduttore così imperfetto, che un pezzo di legno può bruciare ad una delle sue estremità senza scaldarsi a qualche pollice di distanza; da ciò l'uso di adattare dei manichi di legno agli utensili che servono a maneggiare il fuoco. Per la stessa ragione le case di legno sono eccellenti per l'abitazione nei paesi freddi. Nelle grandi città del Nord le case, ed anche i palazzi sono quasi tutti costruiti con matteni e non con pietre, giacchè queste conducendo molto meglio il calore converrebbe dare ai muri di pietra una grossezza assai più considerevole per impedire l'accesso del freddo.

Si può rendere sensibile all'occhio l'ineguaglianza della facoltà conduttrice dei differenti corpi solidi per mezzo dell'apparecchio d'Inghenhouse. Consiste in una scatola rettangolare di latta *MN* (*Tav.* VIII, *Fig.* 235), guarnita lateralmente di un gran numero di tubulature, dentro le quali sono saldate delle bacchette cilindriche eguali, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, di differenti sostanze. S'immergono tutte insieme nella cera fusa, e si

estraggono rapidamente. Il sottile strato di cera che le ricuopre si solidifica per raffreddamento. Quando la cera si è tutta solidificata si riempie il vaso *MN* d'olio bollente: il calore si propaga nelle bacchette, e si giudica dalla rapidità della fusione della cera su ciascuna di esse della rapidità colla quale propagano il calore. Secondo le esperienze d' Inghenhouse, l'argento e l'oro sono i metalli che meglio conducono il calore; dopo vengono il rame, lo stagno ed il platino quasi allo stesso grado, poscia il ferro, l'acciajo e il piombo; il vetro la porcellana e le terraglie sono inferiori ai metalli; il carbone ed i legni secchi conducono anche peggio.

L'indicato processo può ben far giudicare dell'ineguaglianza delle facoltà conduttrici dei varj corpi, ma non può darne un'esatta misura. Per determinare le conducibilità relative dei corpi solidi, bisogna ricorrere al processo che abbiamo già indicato, fondato sulla legge dei decrescimenti delle temperature lungo una sbarra esposta con una sua estremità ad una sorgente calorifica, ed immaginato da Despretz. Questo fisico indica le conducibilità relative dei principali metalli e di alcune altre sostanze coi numeri seguenti.

Sostanze	Facoltà conduttrici
Oro	1000
Platino	981
Argento	673,0
Rame	898,2
Ferro	374,3
Zinco	363,0
Stagno	303,9
Piombo	179,5
Marmo	23,6
Porcellana	12,2
Terra da fornelli	11,4

Questi numeri non sono tutti esatti, giacchè l'esperienza ha provato che la legge della conducibilità su cui è fondato il processo di Despretz, non si verifica che pei corpi meglio conduttori, come sono i metalli; e che il marmo, la porcel-

lana, le terraglie ed i legni non la seguono. Quest'anomalia sembra dipendere dalla poco omogeneità di struttura dei rammentati corpi.

I fili metallici sono buoni conduttori, ma irraggiano il calore con grande rapidità. Per questa ragione un sottil filo di platino incandescente ad una estremità può tenersi colle dita a poca distanza senza risentirne riscaldamento sensibile. Questa proprietà dei fili metallici di disperdere con grande facilità il calore ha ricevuto una importantissima applicazione nella *lampada di sicurezza* immaginata da Davy. Consiste questa lampada in un lume ad olio, circondato da tutti i lati da una rete metallica a maglie piccolissime e fatta con un filo sottilissimo. Questa rete disperde siffattamente il calore che se si preme colla medesima la sommità di una fiamma, questa riman tronca, e non oltrepassa la rete. Da ciò ne avviene che nella lampada di Davy il calore della fiamma non si può comunicare allo ambiente; ond'è che serve ad impedire l'accensione del gas idrogeno carbonato che si sviluppa di sovente nelle miniere di carbon fossibile, la quale accensione avrebbe luogo con una lampada ordinaria.

Propagazione del calore attraverso i liquidi. La facoltà conduttrice dei liquidi è debolissima. In questi corpi il calore non passa che con grande difficoltà da una molecola all'altra, dimodochè l'irraggiamento molecolare è in essi estremamente debole. Ma nei liquidi la propagazione del calore avviene di ordinario in altra maniera. Siccome pel riscaldamento ogni strato liquido si dilata e diviene più leggiero, ne accade che prende tosto un movimento di ascensione, e trascina seco il calore di basso in alto. Questo fatto può esser reso evidente riscaldando il fondo di un vaso pieno di acqua in cui nuota della polvere d'ambra, la quale avendo presso a poco la stessa densità dell'acqua segue i suoi movimenti e indica all'occhio le direzioni di questi e le loro velocità. Lungo le pareti la polvere sale, mentre discende nel centro; quando il liquido si raffredda, le correnti cambiano di posizione. La ragione della posizione delle correnti nel riscaldamento e nel raffreddamento è facile a concepirsi; essa proviene da ciò, che il riscaldamento ed il raffreddamento hanno luogo principal-

mente per mezzo delle pareti del vaso; nel riscaldamento gli strati a contatto delle pareti sono i più caldi ed hanno la maggior forza ascensionale, mentre che nel raffreddamento essi sono più freddi e tendono a discendere maggiormente degli strati centrali. Sembra che il calore che si comunica ai liquidi dipenda quasi unicamente da questo spostamento successivo degli strati che li compongono. Lo strato inferiore, essendo il primo a riscaldarsi, sale, ed è rimpiazzato dallo strato sovrapposto; questo, a sua volta riscaldato, sale del pari, ed è rimpiazzato da uno strato più freddo, e così di seguito finchè la totalità del liquido non è giunta alla temperatura dell'ebullizione.

Se è vero che la propagazione del calorico nei liquidi avvenga quasi unicamente in grazia degli indicati movimenti, e non sia dovuta quasi per niente alla trasmissione di molecola in molecola, il calore non potrà discendere in un liquido, se non con estrema difficoltà; o, in altri termini, dev' essere presso che impossibile riscaldare un liquido ponendo la sorgente del calore in contatto della sola sua superficie superiore. E così accade realmente, come colla seguente esperienza lo ha dimostrato Rumfort, il quale negava assolutamente l'irraggiamento molecolare dei liquidi. Egli prese un vaso *ABCD*, (*Tav.* VIII, *Fig.* 236), in fondo al quale avea formata la massa di ghiaccio *MN* rigonfia in *P* attesa la dilatazione che l'acqua prova nel congelarsi. Al di sopra di questa massa di ghiaccio versò dell'acqua a 0°, e onde evitare qualunque trasmissione di calore per mezzo delle pareti del vaso, immerse questo nel ghiaccio in fusione fino all'altezza del ghiaccio interno. Allora immerse nell'acqua sovrastante alla massa di ghiaccio *MN* un recipiente metallico cilindrico, pieno di acqua bollente, ed osservò che non si fondeva la minima porzione di ghiaccio. Se l'esperienza fosse stata fatta inversamente, cioè a dire, se si fosse fatto galleggiare sull'acqua il ghiaccio, questo si sarebbe fuso prestissimo, non appena si fosse cominciato a scaldare la parte inferiore del vaso. Il fatto che il calore è incapace di discendere in un liquido può anche essere dimostrato bruciando dell'etere sulla superficie dell'acqua contenuta in un vaso, la cui parete è traversata da un termometro disposto

orizzontalmente. Questo termometro, il cui bulbo trovasi nell'acqua a meno di un pollice di distanza dall'etere in combustione, indicherà appena un leggiero inalzamento di temperatura. Accade lo stesso se invece di etere si versa sulla superficie dell'acqua una piccola quantita d'olio bollente.

Resulta da ciò che precede che ogni causa atta a rallentare lo spostamento degli strati di un liquido deve contribuire a ritardarne il riscaldamento o il raffreddamento. Rumfort ha fatto su questo soggetto un gran numero di osservazioni. Egli adoprava l'apparecchio indicato dalla *Fig.* 237, composto di un pallone di vetro *AB* chiuso da un tappo, attraverso il quale passava l'asta *ab* di un termometro, il cui bulbo trovavasi nel centro del pallone. Introduceva nel pallone, prima dell'acqua pura, quindi dell'acqua in cui aveva sospeso della pasta d'amido, dei frammenti di lana o del piumino. Riscaldava poi il pallone fino a 75°, quindi lo immergeva nell'acqua a zero, ed osservava il tempo necessario per produrre il raffreddamento di uno stesso numero di gradi. Egli osservò costantemente che il raffreddamento era tanto più lungo quanto meno liberi erano i movimenti dell'acqua.

Tutte le descritte esperienze tendono a dimostrare che i liquidi, piuttosto che condurre il calore lo trasportano. Non di meno le antiche esperienze di Murray di Edimburgo, mentre provano che i liquidi sono degl' imperfettissimi conduttori, dimostrano al tempo stesso che non sono intieramente privi della facoltà di trasmettere il calore di molecola in molecola. Egli pose il bulbo di un termometro nel fondo di un vaso cilindrico fatto con del ghiaccio, che riempì quindi di mercurio o di olio; poscia immerse nel liquido un corpo caldo, ed osservò che il termometro saliva di varj gradi. In questa esperienza la comunicazione del calore non poteva essere attribuita al vaso, perchè il ghiaccio essendo a zero fondevasi pel calore senza riscaldarsi. Deve osservarsi che l'esperienza fatta col mercurio è la sola che dimostri che la propagazione del calore ha luogo per irraggiamento molecolare, giacchè pei liquidi trasparenti l'inalzamento della temperatura potrebbe dipendere dalla trasmissione diretta del calorico raggiante del corpo attraverso il liquido.

Propagazione del calore attraverso i gas. La facoltà conduttrice dei gas sembra essere anche più debole di quella dei liquidi. La propagazione del calore attraverso di essi effettuasi come nei liquidi pel loro contatto coi corpi solidi riscaldati e pei movimenti resultanti dalle ineguaglianze di temperatura. I gas essendo anche più dilatabili e più mobili dei liquidi, s'intende facilmente che i cambiamenti di temperatura debbano produrre in questi fluidi delle correnti più numerose e più rapide. Si può dimostrare questo modo di propagazione del calore attraverso i gas, sottoponendo al riscaldamento una massa d'aria nella quale si sono introdotti dei corpi leggieri che oppongansi ai movimenti prodotti dalla ineguaglianza di temperatura, come della lanugine, del piumino, del cotone cardato ec.: la comunicazione del calore si effettua allora con molta maggior lentezza di quando l'aria è libera. Dopo ciò, è molto probabile che i corpi leggieri, filamentosi e molto divisi, come il piumino, la lana, la seta, l'ovatta, le pellicce, la paglia, ec. i quali sono cattivissimi conduttori del calore, debbano in gran parte questa loro proprietà all'aria interposta, la quale non può prendere i movimenti che il calore le imprimerebbe, non solo per l'ostacolo meccanico che la diffusione dei filamenti oppone loro, ma ben anco per una particolare attrazione che i corpi porosi esercitano sui gas. Per la stessa ragione anche i corpi ridotti in polvere divengono cattivi conduttori del calore. Così la polvere di carbone, la segatura di legno, la sabbia ed il vetro pesto conservano benissimo il calore.

Legge del raffreddamento dei corpi. Un corpo caldo abbandonato a sè stesso nello spazio, perde tanto più calore in un tempo determinato, quanto più alta è la sua temperatura al di sopra di quella del mezzo circondante.

Newton ammesse *a priori* che un corpo scaldato e sottoposto ad una causa costante di raffreddamento, qual sarebbe l'azione d'una corrente uniforme d'aria, provi ad ogn'istante una perdita di calore proporzionale all'eccesso della sua temperatura su quella del mezzo circondante, e che in conseguenza le perdite di calore formino una progressione geometrica decrescente. Questa legge significa che se fra due corpi che differi-

scono di temperatura di 100°, si esprime con 1 la quantità di calore che il più caldo perde in 1″ di tempo, questa perdita si ridurrà a ½, se la differenza delle due temperature sarà ridotta a 50°.

La legge di Newton rappresenta assai esattamente l'andamento del raffreddamento di un corpo quando l'eccesso della sua temperatura su quella del mezzo non sorpassa i 30° o i 40°. Ma al di là, la differenza tra il calcolo e l'esperienza è tanto più grande quanto più considerevole è l'eccesso. Ciò resulta dalle esperienze di un gran numero di fisici, e specialmente di Dulong e Petit.

Ecco rappresentati i resultamenti di una di queste esperienze:

Eccessi di temperatura su quella dello spazio	Velocità del raffreddamento, ossia numero dei gradi perduti durante un tempo determinato, scelto come unità.
240°	10°,69
220°	8,81
200°	7,40
180°	6,10
160°	4,19
140°	3,88
120°	3,82
100°	2,30
80°	1,34

Questo quadro pone benissimo in evidenza l'inesattezza della legge che suppone l'irraggiamento proporzionale all'eccesso di temperatura, giacchè infatti secondo questa legge, la velocità del raffreddamento a 200° dovrebb'essere doppia di quella a 100°, mentre il quadro ci mostra che è quasi tripla; ossia il raffreddamento a 100° dovrebb'essere di 3°,7, mentre non è che di 2°,30. Dunque il raffreddamento è più lento di quello che la legge darebbe. La stessa esperienza ripetuta con dei corpi differenti per la massa, la forma e la natura, dà sempre gli stessi resultati, cioè a dire lo stesso rapporto fra due raffreddamenti consecutivi. Perciò *la legge del raffreddamento è la stessa per tutti i corpi.* Questa legge è la stessa, sia nel

vuoto che nell'aria e nei gas; ma nel primo caso il raffreddamento è dovuto soltanto all'irraggiamento, mentre nel secondo è dovuto anche alla perdita prodotta dal contatto del fluido, per cui in questo caso il raffreddamento è più rapido.

Dulong e Petit si occuparono a determinare qual parte avevano nel raffreddamento dei corpi, l'irraggiamento e il contatto dell'aria o di un gas qualunque. Perciò determinarono prima il raffreddamento dei corpi nel vuoto, e quindi nell'aria e nei varj gas a densità e tensioni diverse. La differenza dei resultamenti nei due casi era l'effetto dovuto al contatto del fluido. Questa differenza dovuta al contatto dell'aria all'ordinaria pressione, è indicata nel quadro seguente:

Eccesso di temp.ª del corpo su quella del recinto	Velocità nell' aria	Velocità nel vuoto	Differenza o velocità dovuta al solo contatto
200°	14°,04	8°,56	5°,48
180°	11°,76	7°,04	4°,75
160°	9°,85	5°,68	4°,17

Il loro modo di esperimentare era il seguente. Introducevano un grosso termometro pieno di mercurio e riscaldato nel centro di un pallone di rame internamente annerito e immerso in un bagno d'acqua tenuta a temperatura costante. Notavano prima il tempo impiegato ad abbassarsi d'un certo numero di gradi nell'aria; poi ripetevano l'esperienza dopo avere estratto l'aria, e quindi introducendo altri gas, e infine variandone la tensione. Giunsero in questo modo a stabilire che il calore perduto da un corpo pel contatto dei gas è indipendente dalla natura della sua superficie, che è diverso secondo la natura del gas, essendo per esempio per l'idrogeno triplo di quello che è per l'aria e che cresce colla forza elastica e colla densità del gas.

In quanto al raffreddamento in uno spazio assolutamente vuoto e privo di calore, Petit e Dulong dedussero dalle loro

esperienze, che se fosse possibile di porre il corpo a raffreddare nelle accennate condizioni, le velocità di raffreddamento diminuirebbero secondo i termini di una progressione geometrica per delle temperature decrescenti come i termini di una progressione aritmetica.

La velocità del raffreddamento in uno spazio vuoto ma dotato di calore, non dipende che dallo eccesso di temperatura del corpo, e dal suo potere emissivo. Essa non di meno non è eguale per uno stesso eccesso di temperatura, ma diviene sempre maggiore a misura che quest'eccesso ha luogo in una porzione più alta della scala termometrica. Così per esempio un termometro che segna 300° in uno spazio a 200° perde molto più che se fosse a 200° in uno spazio a 100°.

La massa, la capacità calorifica, la facoltà conduttrice, lo stato della superficie, la natura del mezzo circondante esercitano un'influenza grandissima sul raffreddamento dei corpi. Noi esamineremo successivamente queste diverse circostanze.

L'analisi dimostra che il rapporto dei tempi del raffreddamento di due sfere è eguale al rapporto dei quadrati dei diametri, se queste sfere hanno delle grandi dimensioni, ed è eguale al semplice rapporto dei diametri se le sfere sono piccole. Despretz ha fatto in proposito delle esperienze che accordansi assai coll'analisi. Una sfera di zinco del diametro di 0^m,067 perde 10 gradi di calore in 4',21"; un'altra sfera del diametro di 0,^{m}098 perde 10 gradi in 6',29". Il rapporto dei tempi del raffreddamento è 1,48, quello dei diametri è 1,40; il resultato dell'esperienza è intermedio fra i due resultati indicati dall'analisi, perchè infatti i diametri delle due sfere non sono nè grandissimi nè piccolissimi.

La capacità calorifica e la conducibilità, hanno pure una grandissima influenza sul raffreddamento. Per esempio, tutte le altre circostanze essendo eguali, una massa d'acqua esige molto più tempo per raffreddarsi di un certo numero di gradi, che una stessa massa di rame di cui la capacità non è che $\frac{94}{1000}$ di quella dell'acqua. Parimente è facile intendere che il raffreddamento è tanto più rapido, quanto più facile è il movimento del calorico nell'interno dei corpi, ossia quanto più grande è la loro conducibilità.

L'agitazione dell'aria affretta pure grandemente il raffreddamento, come c'insegnano una infinità di giornaliere osservazioni. La rapidità del raffreddamento dipende ancora dallo stato della superficie. Così per esempio una palla di ferro a superficie levigata del diametro di $0^m,067$ si raffredda di 10 gradi in 9',54'' ; la stessa palla arrugginita colla sua esposizione all'aria umida perde 10° in 6'. Coperta di uno strato di vernice fa la stessa perdita in 5',44 ; infine coperta di due altri strati si raffredda anche più presto, poichè non esige che 5',40 per perdere lo stesso numero di gradi ; ma già abbiamo visto quanto sia diverso il potere irraggiante delle diverse superfici per più insistere su questo soggetto.

4.° *Della Calorimetria.*

La *Calorimetria* ha principalmente per iscopo la misura delle quantità di calore atte a produrre lo stesso inalzamento di temperatura su masse eguali di corpi diversi. Diconsi però anche *processi calorimetrici* quelli che servano a misurare la quantità di calorico assorbita dai corpi nel loro cambiamento di stato, o quella ancora che si svolge nella combustione o in qualsiasi altra azione calorifica. Dei primi abbiamo già parlato ; dei secondi diremo trattando delle sorgenti del calore.

Per lungo tempo si credè che a pesi eguali le diverse sostanze contenessero la stessa quantità di calore quando mostravano la stessa temperatura ; ma Black fino dal 1760 dimostrò che i differenti corpi, presi sotto una medesima massa, esigevano quantità diverse di calore per riscaldarsi di uno stesso numero di gradi del termometro. Per esempio la quantità di calore necessaria per inalzare un chilogrammo d'acqua da 0° a 3° è sufficiente per inalzare la temperatura di uno stesso peso di mercurio da 0° a 97°. Le quantità relative di calore assorbite dai varj corpi sotto lo stesso peso, per inalzare la loro temperatura di uno stesso numero di gradi, chiamansi *calori specifici*, i quali servono a indicare le *capacità calorifiche dei corpi*, ossia la più o meno grande loro attitudine a contenere il calorico. Per misurare le capacità calorifiche dei corpi si è convenuto di riferirle a quella dell'acqua che prendesi per unità.

Dicesi unità di calore o *caloria* quella quantità di calore che è necessaria per inalzare un chilogrammo d'acqua di un grado del termometro centigrado.

Nei varj metodi che impiegansi per determinare le capacità calorifiche dei corpi solidi e liquidi, si ammette che queste capacità sieno costanti per uno stesso corpo a qualunque temperatura, cioè che sia sempre necessaria la stessa quantità di calore per inalzare di uno stesso numero di gradi la temperatura di un corpo, qualunque sia questa temperatura. Questa legge resulta da ciò che la temperatura del miscuglio di due masse eguali di uno stesso corpo a delle temperature diverse è la media di queste temperature. Infatti se mescolasi un chilogrammo d'acqua a 20° con un chilogrammo d'acqua a 50°, la temperatura del miscuglio è di 35°; per conseguenza il calore che si è svolto dalla seconda massa per raffreddarsi di 15° è eguale a quello che è stato assorbito dalla prima per riscaldarsi dello stesso numero di gradi; d'onde segue che l'acqua assorbe tanto calore per passare da 20° a 35° quanto per passare da 35° a 50°. Questa legge però non è esatta, giacchè vedremo bentosto che le capacità calorifiche crescono colla temperatura; ma poichè questi accrescimenti sono debolissimi, si possono riguardare le capacità come costanti fra dei limiti di temperatura assai lontani. Si determina generalmente il calorico specifico dei corpi coi tre metodi diversi che andiamo ad accennare: col metodo del *calorimetro*, col metodo *dei miscugli*, e col metodo del *raffreddamento*.

Metodo del calorimetro di Lavoisier e Laplace. In questo metodo si prende per misura della capacità calorifica di un corpo la quantità di ghiaccio che è capace di fondersi nel passare da una certa temperatura a quella del ghiaccio stesso. Il ghiaccio per fondersi assorbe il calore dei corpi coi quali si trova in contatto; quindi è che la quantità di ghiaccio che fondesi è proporzionale alla quantità di calore assorbito. Supponendo di prendere dei pesi eguali di tutti i corpi, di riscaldarli alla stessa temperatura, e di metterli poi ad uno ad uno in una cavità di un grosso pezzo di ghiaccio, le quantità di calore che perderanno nel passare alla temperatura di 0°, saranno proporzionali alle quantità di ghiaccio che avranno

fuso, e quindi queste saranno proporzionali alle loro capacità calorifiche. Non è però necessario per le determinazioni delle capacità calorifiche di operare su dei corpi che abbiano lo stesso peso e la stessa temperatura; basta di conoscere esattamente il loro peso e le loro temperature iniziali: dividendo la quantità del ghiaccio fuso per la temperatura del corpo all' istante della sua immersione nel calorimetro e pel suo peso, si otterrà la quantità di ghiaccio fuso dalla unità di peso e da un raffreddamento di un grado, giacchè la quantità di calore svolta da uno stesso corpo ad una data temperatura è sensibilmente proporzionale al suo peso. Se g è il peso del ghiaccio fuso da un corpo, il cui peso è p, e la cui temperatura è t; $\frac{g}{t \times p}$ sarà il peso del ghiaccio fuso dallo stesso corpo sotto l'unità di peso e di temperatura. Avendo così determinato le quantità di ghiaccio fuso dai diversi corpi nel raffreddarsi di 1° sotto l'unità di peso, convien dividere queste quantità per quella che è relativa all'acqua; ora dalle esperienze di Laplace e Lavoisier, un chilogrammo d'acqua a 75° raffreddandosi fino a 0° fonde un chilogrammo di ghiaccio, perciò la quantità di ghiaccio che fonderebbesi per un raffreddamento di un grado è eguale a $\frac{1}{75}$ ch $=$ 0,ch 01333: conseguentemente dividendo per 0,01333 i numeri ottenuti per un chilogrammo dei diversi corpi, si otterranno le loro capacità calorifiche. L'apparecchio di Lavoisier e Laplace si compone di tre involucri metallici concentrici *IMKL*, *EFGH* e *ABCD* muniti di coperchi corrispondenti (*Tav.* VIII, *Fig.* 238). Per mezzo dei robinetti *O* ed *N* si fa uscire l'acqua formata separatamente nei due recipienti *EFGH* e *IKLM* che si riempiono di pezzi di ghiaccio. Il recipiente *ABCD* è formato di una rete metallica, ed è destinato a ricevere il corpo riscaldato ad una certa temperatura. Finita l'esperienza, si raccoglie l'acqua fusa dal corpo caldo, aprendo il robinetto *O*, e si pesa. È certo che il calore esterno non può avere influito sulla fusione del ghiaccio racchiuso nel recipiente *EFGH*, atteso che questo recipiente era circondato da ogni lato di ghiaccio, essendone pieno tutto l'involucro *IKLM*, come anche il suo coperchio. Questo metodo presenta una causa di errore, di cui è impossibile valutare l'influenza.

Se la temperatura esterna è al disotto di 0°, quando s'introduce il ghiaccio nell'apparecchio, esso sarà asciutto, mentre che al termine dell'esperienza il ghiaccio che rimarrà sarà umido; conseguentemente tutta l'acqua proveniente dal ghiaccio fuso pel raffreddamento del corpo non sarà scolata: se invece s'introduce il ghiaccio essendo l'aria ad una temperatura superiore a 0°, esso sarà umido, e l'acqua scolata si comporrà in parte di quella che bagnava il ghiaccio in principio. In ambedue i casi è impossibile di valutare anche approssimativamente la quantità d'acqua che ricuopre i pezzi di ghiaccio. Inoltre questo metodo esige delle quantità troppo grandi dei corpi sui quali vuolsi esperimentare.

Metodo dei miscugli. Allorquando si mescolano due masse eguali di uno stesso liquido a temperature diverse, il miscuglio prende una temperatura, che è la metà della somma delle loro temperature. Così se mescolasi un chilogrammo d'acqua a 90° con un chilogrammo d'acqua a 10°, la temperatura del miscuglio diverrà eguale a 50°. Se invece di masse eguali prendonsi masse diverse dello stesso liquido, la temperatura del miscuglio diviene eguale alla somma dei prodotti delle masse mescolate per le respettive temperature, divisa per la somma delle masse stesse. Così mescolando un chilogrammo d'acqua a 20° con 4 chilogrammi d'acqua a 100°, la temperatura del miscuglio sarà di 84°.

Questo importante principio, conosciuto col nome di *Principio dei miscugli*, non si applica al caso in cui il miscuglio si faccia fra due liquidi diversi. Se mescolasi ad un liquido un altro corpo qualunque che non abbia azione chimica su di esso, e dotato di temperatura diversa, la temperatura del miscuglio dipenderà in questo caso non solo dai pesi dei due corpi e dalle loro temperature primitive, ma ben anco dalle loro capacità calorifiche, e potrà servire a determinare il rapporto di queste ultime, tutte le altre circostanze essendo note. Per esempio se mescolasi un chilogrammo d'acqua a 0° con un chilogrammo di mercurio a 100°, la temperatura del miscuglio inceve di essere di 50°, come dovrebbe per l'enunciato principio dei miscugli, sarà invece di 3°; conseguentemente la quantità di calore che è stata abbandonata dal mercurio per

raffreddarsi di 97° ha scaldato il medesimo peso di acqua di 3°: la capacità calorifica dell'acqua rispetto a quella del mercurio è dunque come 97 a 3 o come 32, 33 ad 1. In generale, *le capacità calorifiche di due corpi che si sono mescolati a pesi eguali sono in ragione inversa dei loro cambiamenti di temperatura.*

Se i pesi dei corpi fossero ineguali si giungerebbe pure facilmente alla determinazione della capacità calorifica di uno di essi rispetto all'altro. Siccome la capacità calorifica dell'acqua è presa per unità di misura, si adopra costantemente questo liquido in queste ricerche, e si mescola all'altro corpo di cui si vuol trovare il calore specifico e che prendesi ad una temperatura superiore a quella dell'acqua. Sia M la massa d'acqua fredda, C la sua capacità, t la sua temperatura, m la massa del corpo caldo, T la sua temperatura, C' la sua capacità, e T' la temperatura del miscuglio; la temperatura dell'acqua si sarà inalzata di $T'—t$. La quantità di calore assorbito da questo liquido può essere espressa da $M\ C\ (T'—t)$, poichè è chiaro che il calore necessario per far variare un corpo di un certo numero di gradi è proporzionale alla sua massa ed alla sua capacità calorifica. Parimente la perdita del calore provata dal corpo caldo può rappresentarsi da $m\ C'\ (T—T')$. Ora poichè l'acqua non ha acquistato che la quantità di calore che l'altro corpo ha perduto, se ne deduce che $M\ C\ (T'—t)$ è eguale a $m\ C'\ (T—T')$, da cui $C' : C :: M\ (T'—t) : m\ (T—T')$, ossia che *le capacità calorifiche sono in ragione inversa dei prodotti del peso di ciascun corpo pel proprio cambiamento di temperatura.*

Così suppongasi di avere a determinare la capacità calorifica del ferro dai seguenti dati.

Acqua, 2 chilogrammi alla temperatura iniziale di 12°.
Ferro, 1, 8 chilogrammi alla temperatura iniziale di 100°.
Temperatura finale del miscuglio, 20°.
Il calorico specifico del ferro sarà eguale a

$$\frac{2\ (20\text{-}12)}{1{,}8 \times 100\text{-}20} = \frac{16}{1{,}8 \times 80} = \frac{16}{144} = 0{,}111.$$

Questo metodo dei miscugli è certamente il più diretto per determinare il calorico specifico dei corpi. Si anderebbe però

incontro a gravi errori nel praticarlo, quando si trascurassero le cause d'errore che sono ad esso inerenti. La prima di queste dipende dal calore assorbito dal vaso, la seconda dal raffreddamento che ha luogo mentre si opera il miscuglio. Si corregge l'errore che proviene dalla prima causa aumentando il peso dell'acqua del peso del vaso moltiplicato pel rapporto della sua capacità calorifica a quella del liquido. Se la capacità calorifica del vaso non fosse nota, si potrebbe direttamente determinare per mezzo di un'osservazione preliminare. Si può anche correggere determinando precedentemente di quanto si abbassa la temperatura di un dato peso di acqua ad una certa temperatura a contatto del vaso che ha una temperatura più bassa, ed aggiungendo, colle debite proporzioni, questa quantità alla temperatura del miscuglio. In quanto all'errore proveniente dal raffreddamento dovuto al calorico che si disperde nell'aria durante l'operazione, si può render piccolissimo prendendo i pesi dell'acqua e dell'altro corpo, ovvero le loro temperature, in guisa che la temperatura del miscuglio differisca di poco da quella dell'aria, ed effettuando prontamente il miscuglio.

Metodo del raffreddamento. Questo metodo immaginato da Mayer è fondato sul principio che due corpi terminati da superfici egualmente irraggianti e ad eguale temperatura perdono nello stesso tempo la stessa quantità di calore; talchè quello che ne possederà in maggior copia impiegherà maggior tempo a raffreddarsi dello stesso numero di gradi dell'altro. Ma la quantità di calorico che in un dato intervallo di tempo emette un corpo è anche proporzionale alla sua massa. Essendo dunque m, m' le masse dei corpi, c e c' i loro calori specifici, e t e t' i tempi di egual raffreddamento, si avrà la proporzione $m\,c : m'\,c' :: t : t'$; ossia i tempi sono proporzionali ai pesi dei corpi moltiplicati per le loro capacità calorifiche. Da ciò si ricava che $c : c' = \frac{t}{m} : \frac{t'}{m'}$, ossia che *le capacità calorifiche dei corpi sono proporzionali ai tempi di egual raffreddamento, divisi pei pesi respettivi dei corpi.*

Se i corpi sono liquidi o in polvere si pongono in piccoli vasi d'argento o di rame a pareti assai sottili. Se sono solidi,

e specialmente metallici, si riducono in cilindri di eguali dimensioni, e si ricuoprono di uno strato di vernice affinchè presentino la stessa superficie irradiante. Quando si fa uso del piccolo vaso metallico bisogna tener conto del suo calorico specifico e della sua massa. Sia m'' la sua massa e c'' il suo calorico specifico; le quantità di calorico perdute durante i tempi t e t' saranno proporzionali alle quantità $m'' c'' + m c$ ed $m'' c'' + m' c'$; talchè si avrà $m'' c'' + m c : m'' c'' + m' c' = t : t'$.

Quadro delle capacità calorifiche determinate da Lavoisier e Laplace.

NOMI DELLE SOSTANZE	Capacità calorifiche
Acqua	1,0000
Piombo	0,0283
Mercurio	0,0290
Stagno	0,0475
Ferro battuto	0,1105
Zolfo	0,2085
Olio d'oliva	0,3096
Acido solforico (Dens. 1,87)	0,3346

Capacità calorifiche determinate col metodo del raffreddamento.

NOMI DELLE SOSTANZE	Capacità calorifiche
Acido solforico (Dens. 1,84)	0,350
Alcool (Dens. 0,81)	0,700
Essenza di Trementina	0,472
Sal comune	0,230

Capacità calorifiche determinate col metodo dei miscugli da Dulong e Petit.

Nomi delle sostanze	Capacità calorifiche
Acqua	1,000
Mercurio	0,033
Argento	0,055
Rame	0,094
Ferro	0,109
Vetro	0,177

Dulong e Petit, nelle loro determinazioni fatte alle temperature le più diverse, giunsero a scuoprire due leggi generali molto importanti. La prima di queste si è che mentre la capacità dei corpi solidi e liquidi è costante da 0° a 100°, cessa di esserlo a temperature più alte; e benchè per i diversi corpi cresca con una legge diversa, è però costante che per tutti cresce colla temperatura. Quella quantità di calore che inalza di 1° la temperatura di un corpo nell'intervallo da 0° a 100°, non è sufficiente a temperature più alte. Così per il ferro, Dulong e Petit hanno trovato che la capacità pel calore è

0,1098 da 0° a 100°
0,1150 da 0° a 200°
0,1218 da 0° a 300°
0,1255 da 0° a 350°

La seconda legge scoperta da Dulong e Petit è relativa ai rapporti delle capacità calorifiche dei corpi semplici coi loro pesi atomici, da cui resulta che gli atomi dei corpi semplici sono dotati tutti dello stesso calorico specifico. Ma questa legge spetta più particolarmente alla chimica.

Capacità calorifica dei gas. La capacità calorifica dei gas diminuisce quando la pressione aumenta, ed aumenta invece quando la pressione diminuisce; è questa la ragione per la quale i fluidi aeriformi si riscaldano quando vengono compressi, e si raffreddano colla dilatazione. L'alta temperatura

che infiamma l' esca nell' acciarino pneumatico è una conseguenza della diminuita capacità calorifica dell'aria per la compressione. Al contrario l'aria compressa entro un recipiente, la quale esca con impeto da un robinetto che le dia adito, produce un freddo intensissimo ; non solo raffredda il termometro che le si presenta, ma è ancora capace di congelare il vapore acquoso che seco trasporta o che incontra. L'esperienza può esser fatta facilmente mediante una macchina di compressione. Nelle miniere in cui si fa uso di macchine idrauliche nelle quali vi sono delle grandi masse d'aria umida e compressa, il fenomeno si riproduce ogni volta che si aprono i grossi robinetti che le danno adito. Vedesi tosto una brina abbondante ricuoprire i corpi esposti al getto dell'aria.

Molti fisici si sono occupati di determinare le capacità calorifiche dei varj gas rispetto a quella dell'aria. Le capacità calorifiche di questi corpi sono prese non più per un peso costante di gas, ma per un volume costante e sotto una data pressione. Si paragonano cioè le quantità di calore che sono necessarie per inalzare di un grado la temperatura di volumi eguali dei diversi gas presi tutti sotto la stessa pressione. Questo modo di considerare la capacità calorifica dei gas è richiesto dalla loro natura. Difatti abbiamo già osservato che tutte le proprietà fisiche dei gas seguono delle leggi identiche e semplicissime, se vengono riferite a volumi eguali di questi fluidi. Il metodo più generalmente impiegato in queste ricerche, consiste nel far circolare per mezzo di un serpentino, una corrente di gas a una data temperatura, attraverso dell' acqua dotata di una temperatura diversa, e notare il cambiamento prodotto in questa dal passaggio di volumi eguali di gas differenti. Il resultato più importante delle ricerche di Delaroche e di Berard su questo soggetto, si è che le capacità calorifiche dei gas semplici a volumi e pressioni costanti sono le stesse per tutti. Quelle de' gas composti differiscono alquanto fra di loro. Il calorico specifico dell'aria atmosferica rispetto a quello di un peso eguale di acqua è di 0,266, quello dell'acqua essendo rappresentato da 1. La mancanza di utilità pratica nelle ricerche relative alla determinazione delle capa-

cità calorifiche dei gas, ci dispensa da entrare in maggiori dettagli e schiarimenti, che sarebbero necessari a bene intendere i metodi usati in tali determinazioni.

5.° *Delle sorgenti del calorico.*

Le sorgenti del calore sono di due specie: le une sono permanenti, le altre accidentali. Le prime consistono nel sole, nelle stelle, e nella terra stessa; le seconde sono la percussione, la confricazione, la pressione, il cambiamento di stato dei corpi, l'elettricità, le azioni chimiche, e la respirazione animale, che è causa principale del calore degli animali a sangue caldo. Noi parleremo prima delle sorgenti accidentali perchè ci sembra conveniente legare lo studio delle sorgenti permanenti del calorico, a quello dei fenomeni meteorologici dovuti a questo fluido, col quale termineremo il Trattato del calorico.

1.° *Sorgenti accidentali del calorico.* — *Percussione.* Ognun sa che i metalli battuti sull'incudine si scaldano spesso al punto di scottare la mano. Un pezzo di piombo può fondersi colla prolungata percussione sull'incudine. Nell'acciarino le scintille di fuoco che si producono, son composte di piccoli frammenti di ferro che il calore prodotto dalla percussione della pietra focaja basta ad infiammare. Alcuni fisici hanno attribuito il calore prodotto dalla percussione ad un ravvicinamento forzato delle molecole, che farebbe passare una certa quantità di calor latente allo stato di calor sensibile. Ma questa causa non può esser sola, giacchè il piombo, che non aumenta sensibilmente di densità quando si percuote, si scalda non di meno come gli altri metalli. L'influenza dell'aumento di densità sembra provata dall'osservazione di Berthollet, che il calore sviluppato colla percussione diminuisce reiterando quest'azione. Questo fisico, facendo battere delle monete osservò, che la quantità di calore sviluppata colla percussione diveniva tanto minore quante più volte la stessa moneta era stata battuta, e questa diminuzione doveva provenire dalla minore condensazione che provavano le monete nelle successive percussioni.

Confricazione. Quando si confricano due corpi insieme si sviluppa una quantità di calore, che è tanto più grande quanto più rapida è la confricazione. Ognun sa che la confricazione troppo rapida delle ruote intorno agli assi ne produce spesso l'infiammazione, e che alcuni abitanti di paesi selvaggi si procurano il fuoco confricando insieme due pezzi di legno secco. Il cavalier Davy è riuscito a fondere una porzione di due frammenti di ghiaccio confricandoli insieme, in un ambiente in cui la temperatura era al di sotto di zero. Rumfort facendo forare dei cannoni riuscì a far bollire 18 libbre di acqua per mezzo del calore che producevasi nella confricazione del trapano contro il pezzo.

Compressione. Allorquando un corpo prova una diminuzione di volume per mezzo della pressione, il calorico se ne svolge, nel modo stesso che l'acqua sgorga da una spugna compressa. I corpi sólidi e liquidi, non essendo suscettibili di provare una notevole diminuzione di volume colla semplice pressione, non sviluppano sensibilmente calorico; i corpi gassosi invece, essendo molto compressibili, ne sviluppano una grandissima quantità. Si dimostra con un apparecchio al quale si è dato il nome di *acciarino pneumatico*, che la subitanea compressione dell'aria per mezzo di uno stantuffo che scorre a sfregamento in un grosso tubo di vetro o di ottone, produce uno sviluppo di calore capace di accender l'esca. Quando invece un gas si dilata v'ha assorbimento di calorico, o, in altri termini, si produce freddo, come si può dimostrare introducendo un termometro in un recipiente in cui si faccia il vuoto. La rarefazione dell'aria o di un gas qualunque è la più grande sorgente frigorifica che si conosca. Abbiamo già visto che facendo uscire con una certa velocità da una macchina di compressione una corrente d'aria compressa, il freddo che si produce è tale da far congelare i vapori acquosi dell'atmosfera.

Cambiamento di stato dei corpi. Noi già sappiamo che ogni volta che un gas passa allo stato liquido, o che un liquido passa allo stato solido v'ha emissione di calore dovuta al calorico latente che si sprigiona.

Elettricità. Questo agente costituisce una considerevole sorgente di calore; ma di essa parleremo nel trattato dell'elettricità.

Azioni chimiche. Nel maggior numero delle azioni chimiche v' ha svolgimento di calore. Talvolta questa produzione di calore sembra dipendere dal semplice cambiamento di stato che ha luogo nel momento della formazione del nuovo composto. Così per esempio se mescolasi una soluzione concentrata di cloruro di calcio con un peso eguale di acido solforico si produrrà immediatamente un corpo solido, del solfato di calce; e questa produzione sarà accompagnata da un grande svolgimento di calore. S' intende che in questo caso la subitanea trasformazione dei due liquidi in un corpo solido, basta sola a spiegarci la produzione del calore. Ma in chimica presentansi comunemente degli esempj di combinazioni accompagnate da calore, nelle quali per la teoria del calor latente dovrebbe invece prodursi freddo. Per esempio se si versa dell'acido nitrico concentrato su dell'essenza di trementina, si produce tosto un calore sufficiente ad infiammare il miscuglio, e non di meno, in questo caso il resultato dell'azion chimica essendo la conversione di due liquidi in fluidi elastici, dovrebbe prodursi freddo. Accade lo stesso nell'esplosione della polvere da cannone, in cui tutta la materia solida si converte subitamente in gas. Bisogna adunque ammettere che nella maggior parte dei casi di azione chimica esiste una causa di emissione di calore, indipendente da ogni cambiamento di stato dei corpi, e che sembra risiedere nel solo fatto della combinazione. L'esame delle principali azioni chimiche che producono calore spetta alla chimica; non di meno non possiamo astenerci dal fare alcune parole sopra la più importante, che è al tempo stesso la più comune delle sorgenti artificiali di calore, voglio dire la combustione.

La combustione si fa in grazia dell'aria atmosferica. Questa è composta di due gas distinti, l'ossigeno e l'azoto. Il primo, che ne costituisce soltanto $\frac{1}{5}$ del suo volume, ha una tendenza più o meno grande a combinarsi con tutti i corpi che non ne sono già saturi, e che vengon detti combustibili, e questa combinazione porta il nome di combustione. Se questa combi-

nazione si opera lentamente, come accade per esempio nel caso del ferro, che si cuopre di ruggine allorquando è esposto all'aria, allora non v'ha alcuno svolgimento di luce nè di calore, ed il fenomeno prende più particolarmente il nome di ossidazione; se invece essa è viva ed istantanea, come accade quando s'inalza considerevolmente la temperatura iniziale del corpo combustibile, si produce un grande svolgimento di calorico accompagnato da luce, ed il fenomeno prende allora il nome di combustione propriamente detta. Tale è la combustione del legno o del carbone nei fornelli, dell'olio nelle lampade, e del gas idrogeno carbonato negli apparecchi destinati all'illuminazione. Qualche volta il fenomeno può aver luogo lentamente con produzione di luce senza calore; tale è il caso del fosforo, che produce colla sua combustione nell'aria una luce visibile nell'oscurità, senza sensibile svolgimento di calorico.

La combustione altro non essendo che la combinazione di un corpo combustibile coll'ossigeno dell'aria, ne resulta che un corpo qualunque che brucia aumenta necessariamente di peso: così se si riscalda per qualche tempo al rosso vivo un fil di ferro del peso di 100 grani, dopo la combustione peserà circa 130 grani. Non di meno la parola combustione porta seco volgarmente l'idea della perdita e disparizione della sostanza bruciata, perchè infatti tale è l'apparenza del fenomeno; ma ciò dipende dalla natura dei prodotti delle ordinarie combustioni, i quali essendo gassosi si diffondono nell'atmosfera e spariscono: ma se invece con gl'idonei apparecchi accuratamente si raccogliessero, sarebbe facile costatare che il loro peso aggiunto a quello delle ceneri, ossia delle materie incombustibili, sorpassa molto il peso del combustibile prima della combustione.

La quantità di calore svolta nella combustione può essere determinata per mezzo del calorimetro di Rumfort. Consiste questo apparecchio in una cassa rettangolare (*Tav.* VIII, *Fig.* 239), costituita da una sottil lastra di rame, sul fondo della quale circola un canale, pure di rame, le cui estremità si prolungano al di fuori della cassa, l'una in un imbuto rovesciato *PQ*, l'altra in un tubo *O*. Nella parte superiore della cassa trovasi una tubulatura chiusa da un turacciolo traversato da un ter-

mometro con lungo bulbo. Si empie la cassa d'acqua, e sotto l'imbuto *PQ* bruciasi un peso determinato di combustibile. Al termine della combustione si osserva la temperatura dell'acqua. Da questa, conoscendo il peso dell'acqua contenuta nel recipiente, si deduce facilmente di quanti gradi s'inalzerebbe la temperatura di un peso d'acqua eguale a quello del corpo bruciato. Convien procurare che i gas escano dal tubo *O* non avendo che la temperatura dell'aria ambiente. Per attenuare l'errore dovuto al raffreddamento del vaso durante l'operazione, non si brucia che la quantità di combustibile sufficiente ad inalzare la temperatura dell'acqua di pochi gradi. Conviene ancora correggere i resultati, tenendo conto del calore comunicato al vaso, cioè a dire della sua capacità calorifica. Per mezzo del calorimetro di Rumfort sono stati determinati i numeri del quadro seguente.

Quadro della quantità di calore sviluppata dalla combustione di varie sostanze, determinata col calorimetro di Rumfort.

SOSTANZE	Inalzamento di temperatura, che il calore sviluppato dalla combustione comunicherebbe ad un peso di acqua eguale a quello del combustibile.
Idrogeno	23400°
Olio d'Oliva	9044
Cera bianca	9479
Sevo	8369
Etere Solforico	8030
Carbone	7226
Nafta	7338
Alcool a 42° B	6195
Alcool più acquoso	5422
Detto a 33°	5261
Legno di Quercia	3146

Azioni chimiche producenti freddo. Certe azioni chimiche invece di produrre svolgimento di calore danno luogo ad un assorbimento di calorico, o in altri termini a produzione di

freddo. Tale si è il caso dei *miscugli frigorifici*. I miscugli frigorifici ottengonsi o sciogliendo nell'acqua dei sali contenenti dell'acqua di cristallizzazione, ovvero mescolando al ghiaccio dei sali solubili nell'acqua. Nel primo caso la produzione del freddo è dovuta ad un assorbimento di calore prodotto dalla dissoluzione del sale, che nel disciogliersi passa dallo stato solido allo stato liquido. Si può considerare questo calore come una specie di calorico latente di fusione, ma che può essere differentissimo dal calorico latente di fusione propriamente detto, e può distinguersi col nome di *calorico latente di dissoluzione*. Nel secondo caso l'abbassamento di temperatura dipende al tempo stesso dal calorico latente di dissoluzione del sale o del corpo solubile nell'acqua, e dal calorico latente della fusione del ghiaccio.

Nei miscugli frigorifici l'abbassamento di temperatura ha sempre un limite che dipende: 1.° dalla più o meno grande quantità di calore che si svolge nella combinazione chimica e che tende a diminuire il freddo prodotto; 2.° dalla diminuzione, che coll'abbassarsi della temperatura subisce l'affinità dei corpi, per cui ad una certa temperatura si estingue la cagione che determina la fusione. Così per esempio un miscuglio di sale e di ghiaccio non può abbassarsi al di sotto di — 22, perchè a — 22 una soluzione di sal marino abbandonerebbe il sale per lasciarlo cristallizzare.

Le proporzioni delle sostanze sono di una grande importanza per ottenere il massimo effetto, perchè il freddo prodotto dalle combinazioni è il resultato di due effetti contrarj, cioè del freddo proveniente dal cambiamento di stato e dal calore che si è svolto nella combinazione; e il predominio dell'uno sull'altro varia colle quantità relative delle sostanze impiegate. Così per esempio una parte di acido solforico mescolata con 4 parti di neve produce freddo, mentre a parti eguali queste due sostanze svolgono del calore.

Quadro di varj miscugli frigorifici.

1.° Miscugli di acqua e sali.

	Parti		Freddo prodotto
Acqua	16	da + 10° *a* — 12°. . .	22°
Nitro.	5		
Sale ammoniaco.	5		
Acqua	16	da + 10° *a* — 16°. . .	26°
Sale ammoniaco.	5		
Nitro.	5		
Solfato di soda	8		
Acqua	1	da + 10° *a* — 16°. . .	26°
Nitrato di ammoniaca	1		
Acqua	1	da + 10° *a* — 19°. . .	29°
Nitrato d'ammoniaca	1		
Sotto carbonio di soda	1		

2.° Miscugli d'acidi e sali.

	Parti		Freddo prodotto
Solfato di soda	3	da + 10° *a* — 19°. . .	29°
Acido nitrico allungato	2		
Solfato di soda	6	da + 10° *a* — 23°. . .	33°
Sale ammoniaco.	4		
Nitro.	2		
Acido nitrico allungato.	4		
Solfato di soda	6	da + 10° *a* — 26° . .	36°
Nitrato d'ammoniaca	5		
Acido nitrico allungato.	4		
Fosfato di soda	9	da + 10° *a* — 29° . .	39°
Acido nitrico allungato.	4		
Solfato di soda	8	da + 10° *a* — 17. . .	27°
Acido muriatico.	5		

3.° Miscugli di ghiaccio o sali.

	Parti		Freddo prodotto
Neve o ghiaccio pesto.	2	. . . .	20°
Sal marino.	1		
Neve o ghiaccio pesto	5	. . . .	24°
Sal marino	2		
Sale ammoniaco.	1		
Neve.	12	. . . .	31°
Sal marino	5		
Nitrato d'ammoniaca	5		

Calore animale. Tutti gli animali a sangue caldo hanno una temperatura propria indipendente da quella dell'ambiente in cui vivono. Il calore in tutti i corpi bruti tende incessantemente verso l'equilibrio: gli scambi reciproci che stabilisconsi fra questi differenti corpi cagionano bentosto una temperatura uniforme. Al contrario gli animali a sangue caldo, egualmente sottoposti alle perdite cagionate dal contatto, dall'evaporazione e dall'irraggiamento, posseggono in loro stessi una causa di riproduzione di calore che conserva generalmente la loro temperatura fra 35 e 45 gradi sopra zero. La temperatura media dell'uomo nell'età virile è di 37,14; nei bambini di pochi giorni è di 35,06; negli uccelli è di circa 42°. Queste temperature si conservano costanti al variare di quella dell'ambiente. La temperatura del corpo umano si misura tenendo il bulbo di un termometro sotto le ascelle, ovvero sotto la lingua. John Davy ha misurato la temperatura degli uomini a diverse latitudini, e non ha trovato differenze maggiori di due a tre gradi fra gli abitatori del polo e quelli dell'equatore.

La causa del calore animale consiste nella respirazione. Lavoisier e Laplace furono i primi fisici che considerarono questa funzione come una vera combustione degli elementi del sangue, e quindi come la causa dello svolgimento del calore animale. Difatti nella respirazione l'ossigeno atmosferico è convertito in gas acido carbonico ed in acqua, che sono i prodotti della espirazione, e il carbonio e l'idrogeno di questi composti non possono esser forniti che dal sangue. Dulong e Despretz tolsero ogni dubbio intorno a questo importante soggetto, dimostrando che le quantità del carbonio e dell'idrogeno bruciate nella respirazione animale in un dato tempo erano approssimativamente quelle atte a somministrare colla loro combustione nell'aria, la quantità stessa di calore che nello stesso tempo producevano gli animali. L'apparecchio di cui si servirono questi fisici, consisteva in un calorimetro, destinato a dar la misura del calore sviluppato in un dato tempo dall'animale che si assoggettava all'esperienza, e consistente in una scatola di rame a pareti assai sottili e circondata dall'acqua. In questa scatola si racchiudeva l'animale, ed alla medesima era-

no uniti due gasometri uno dei quali forniva l'aria all'animale, l'altro riceveva i gas espirati. La piccola differenza in meno che si osservò in queste esperienze pel calore della supposta combustione sul calore animale, deve attribuirsi alle altre cause di produzione di calore che sussistono nell'economia animale, e di cui è qui superfluo discorrere.

2.° *Sorgenti di calore permanenti.* 1.° *Il sole.* La prima e principale sorgente del calor terrestre risiede in questo astro. I raggi solari traversano l'atmosfera senza molto riscaldarla, ma quando sono arrestati da dei corpi opachi comunicano loro una porzione del calorico che contengono. Così, nei nostri climi, quando la temperatura dell'aria è a 30°, non di rado si vede salire il termometro posto nella sabbia, o sopra lastre metalliche, fino a 60°. I corpi non cessano di riscaldarsi per l'irraggiamento solare se non quando perdono tanto calore, quanto ne ricevono; e la perdita cui vanno soggetti, dipende dal contatto coi corpi vicini e coll'aria, e dal loro irraggiamento verso il cielo; perciò l'eccesso di temperatura al quale giungono è tanto maggiore quanto meglio sono isolati mediante corpi cattivi conduttori, meglio difesi dalle correnti aeree, e disposti in guisa, che ricevendo l'azione diretta dei raggi solari, non possano irraggiare se non verso una molto limitata estensione di cielo. Tali sono i principj che spiegano la prodigiosa diversità di temperature che presentano i diversi corpi esposti al sole in un medesimo luogo.

Sono state eseguite molte esperienze per valutare il calor solare, esponendo simultaneamente due termometri, l'uno all'ombra, l'altro al sole; ma quanto abbiamo già detto basta a farci intendere la fallacia di queste esperienze. Il termometro che è all'ombra dà la temperatura dell'aria se è posto nelle convenienti condizioni; altrimenti dà una temperatura eccezionale e senza valore. In quanto al termometro esposto al sole, esso indica una temperatura che dipende dagli elementi complessi da noi sopra accennati ed inoltre dalla sua massa, dalla sua forma, dal suo potere assorbente, dalla durata dell'esperienza e da varie altre circostanze ancora. Se si rinchiude il bulbo del termometro esposto al sole entro una

scatola, in modo da prevenire l'effetto della corrente dell'aria, può inalzarsi fin presso a 100°, mentre la temperatura dell'atmosfera, all'ombra, è solo di 25°. Quando si concentrano i raggi del sole al fuoco di una lente o di uno specchio concavo, il calore che si produce è intensissimo e capace di fondere la maggior parte dei metalli e delle terre; ma l'uso pratico di questi apparecchi è estremamente limitato perchè il calore, benchè intensissimo, si produce soltanto in un punto.

In generale la quantità di calore che il sole fornisce alla terra dipende dalla durata del suo irraggiamento, cioè a dire dal tempo che rimane al disopra dell'orizzonte, e dal grado di obliquità dei suoi raggi, i quali riscaldano tanto meno la terra quanto più obliquamente vi giungono. Ambedue queste cause producono l'estate; alla seconda è dovuto il decrescimento di temperatura che si osserva andando dall'equatore verso i poli. La durata della insolazione influisce tanto sul riscaldamento della terra, che anche pei punti molto lontani dall'equatore vi sono nell'anno alcuni giorni caldissimi, perchè il sole vi rimane lungo tempo sopra l'orizzonte.

2.° *Calore delle stelle fisse.* Fourier e Poisson sono stati i primi che abbiano fatto considerare che anche le stelle fisse debbono avere a guisa del sole un calore loro proprio che irraggiano nello spazio. Fourier distingue col nome di *calore degli spazj planetarj* il calore dovuto all'irraggiamento di tutti i corpi celesti, tolti il sole, la terra e gli altri pianeti. La temperatura che indicherebbe un termometro, se il nostro sistema solare non esistesse, sarebbe quella dovuta a questo calore. Questa temperatura sarebbe la stessa per tutti i punti dello spazio occupati dal sistema solare, atteso che per tutti questi punti la distanza dalle stelle è sensibilmente la stessa. Secondo le considerazioni e i calcoli di Fourier, essa sarebbe quella dei limiti estremi dell'atmosfera, e di poco inferiore alla più bassa temperatura osservata sulla superficie della terra, cioè a dire di circa — 60°, giacchè le più basse temperature osservate sulla superficie terrestre son quelle di — 47 e di — 57 notate nelle regioni polari dai capitani Parry e Black. Non ammettendo il calore degli spazj planetarj, al di là dei limiti dell'atmosfera vi sarebbe il *freddo assoluto.*

3. *Calor terrestre.* Quando si osserva la temperatura al di sotto della superficie della terra, nella direzione di una stessa verticale, si scorge che le variazioni di temperatura prodotte dal cambiamento di stagione divengono tanto meno sensibili quanto più ci allontaniamo dalla superficie; e che ad una certa profondità la temperatura rimane costante. Al di là di questo punto la temperatura è parimente costante per ogni altro punto, ma aumenta colla profondità. presso a poco di un grado per ogni 30 a 40 metri. Questi fatti sono stati verificati in ogni parte del globo, sia coll'osservare la temperatura delle miniere e dei pozzi i più profondi, come ancora quella delle acque zampillanti da grandi profondità. Questo fenomeno dell'accrescimento della temperatura, a misura che si penetra nelle viscere della terra non può spiegarsi se non supponendo che esista nel centro del globo terrestre una sorgente di calore, il quale propagandosi di strato in strato cagioni una temperatura che vada decrescendo dal centro della terra fino a quella porzione che si trova assai prossima alla sua superficie da essere influenzata dal calor solare. I fisici spiegano la causa del calor centrale, ammettendo che in origine la terra dovesse trovarsi in un completo stato di fusione, e che col succedersi dei secoli che sono scorsi essa si sia lentamente raffreddata, in guisa che attualmente conservi in parte soltanto il primitivo calore e ad una grandissima profondità al di sotto della sua superficie.

6.° *Dei fenomeni meteorologici dovuti al calore.*

Si è dato il nome di *meteorologia* a quel ramo della fisica nel quale si applicano i principj di questa scienza alla spiegazione dei fenomeni naturali che si producono, sia sulla terra sia nell'atmosfera. Perciò questi fenomeni vengon distinti col nome di *meteorologici*, e possono esser dovuti ad uno qualunque dei grandi agenti della natura.

1.° *Effetti generali prodotti dal calor solare, dal calor terrestre e dal calor delle stelle.* Il calor terrestre è quasi senza influenza sulla temperatura della superficie della terra, giacchè il raffreddamento della terra è eccessivamente lento, come

resulta necessariamente dalla osservata permanenza della temperatura degli strati situati ad una certa profondità. Certamente queste temperature anderanno diminuendo col tempo; ma il loro decrescimento succede con sì prodigiosa lentezza, che non potrà riconoscersi se non che confrontando delle osservazioni fatte ad epoche lontanissime. Secondo Fourier il raffreddamento della terra è di $\frac{1}{37600}$ di grado per ogni secolo. V'è un fatto astronomico che prova la grande lentezza di questo raffreddamento, ed è la costante durata del giorno siderale, ossia delle rivoluzioni della terra intorno al suo asse. Difatti sappiamo, che se un corpo solido che ruota intorno ad un asse diminuisce di diametro, la sua velocità di rotazione aumenta; perciò se la terra raffreddandosi diminuisse di volume, le sue rivoluzioni sarebbero necessariamente più rapide. Ora da tanti secoli non si è scoperta variazione alcuna nella durata del giorno siderale. Secondo Fourier il calor terrestre non aumenta neanco di $\frac{1}{30}$ di grado la temperatura della superficie della terra.

La temperatura della crosta esterna della terra dipende adunque quasi unicamente dall'azione solare e dal calore degli spazi planetarj; e che sia dovuta anche a quest'ultima cagione ce ne convinciamo riflettendo all'irraggiamento che si opera nella notte del calore che la terra ha nel giorno accumulato. Questo irraggiamento verso gli spazj planetarj abbassa considerevolmente la temperatura della superficie terrestre, ma non potrà mai questa discender tanto basso da divenire inferiore a quella degli spazj planetarj; ma se si supponesse che questi spazj fossero intieramente privi di calore, la terra, tolto il sole, irraggerebbe verso uno spazio di freddo assoluto, e la velocità del suo raffreddamento diverrebbe illimitata, in guisa che tutto il calore ricevuto dal sole si disperderebbe nella notte in un tempo infinitamente piccolo.

Esaminiamo adesso come si opera il riscaldamento della terra nel giorno, e come avviene il suo raffreddamento nella notte, e come dalla differenza di queste due azioni dipenda la temperatura di un luogo. Se la terra non fosse circondata da un'atmosfera gassosa i raggi solari si trasmetterebbero a noi senza venire in alcun modo diminuiti d'intensità; non vi sarebbe cioè calore assorbito dal mezzo interposto. La super-

ficie della terra si riscalderebbe assai più, e ce ne possiamo convincere innalzandoci verso la sommità di un monte ove l'aria essendo meno densa, i raggi solari hanno un'azione calorifica molto più intensa che nelle regioni basse. Secondo Pouillet la perdita del calor solare per l'assorbimento dell'aria è di circa la metà. Quei raggi solari che non sono stati assorbiti dall'aria, sono assorbiti dalla superficie della terra, la quale per quest'assorbimento si riscalda assai più dell'aria che v'è a contatto, essendo essa costituita di corpi dotati più assai di essa di facoltà assorbente. La terra riscaldata irraggia calore e tende conseguentemente a perderne. Questo fenomeno si fa molto sensibile nella notte, perchè allora cessa il riscaldamento solare. Nel raffreddamento che subisce la terra nella notte pel calore che irraggia, interviene pure l'atmosfera, ma per diminuirlo. Difatti la terra riscaldata dal sole non è che una sorgente calorifica a bassa temperatura, quindi i suoi raggi traversano difficilmente il mezzo diatermano che la circonda.

Il potere emissivo del suolo è maggiore di quello dell'aria, quindi nella notte il suolo emette più calore dell'aria sovrapposta; inoltre questa è anche riscaldata dai raggi che assorbe dal suolo, onde avviene che nella notte la temperatura del suolo è sempre più bassa di quella dell'aria sovrapposta. In quelle circostanze in cui l' irraggiamento del suolo è grandemente favorito, accade che la sua temperatura si abbassa assai al di sotto di quella dell'aria sovrapposta; ma lo strato d'aria che tocca immediatamente il suolo ne prende la temperatura, ond' è che in questi casi la temperatura degli strati dell' aria si va inalzando verso l' alto; ma questo aumento, prodotto dal contatto della terra raffreddata, cessa ad un'altezza di pochi piedi, e seguitando a salire nell'atmosfera la temperatura si abbassa continuamente, per le ragioni che in breve esporremo. Si deve adunque all'atmosfera il non passare da un forte calore del giorno ad un freddo intensissimo nella notte. Si è creduto fino a questi ultimi tempi che il calore si diffondesse nell'atmosfera portato dalle correnti ascendenti dell'aria riscaldata sulla superficie della terra, e che nella notte esistessero invece delle correnti discendenti d'aria fredda; ma è oggi provato che questi movimenti non sussistono

e non hanno parte nel riscaldamento e nel raffreddamento del suolo e dell'aria che v'è a contatto. Abbenchè l'aria situata presso il suolo sia sempre più calda e più dilatata di quella situata in alto, non ne viene in conseguenza che debba salire, giacchè sostiene sempre una pressione maggiore, e basta, come realmente accade, che la compressione superi l'effetto della dilatazione prodotta dal calore, perchè conservi il suo posto. Dei movimenti verticali dell'aria si producono talvolta nell'estate, ma ciò quando per delle circostanze locali la temperatura di certi punti del suolo, e quindi dell'aria a contatto, s'innalza considerevolmente.

Il calor solare assorbito dalla superficie del suolo si diffonde anche negli strati sottoposti; e difatto si vede inalzare nel giorno la temperatura di un termometro coperto di un grosso strato di terra, ed abbassare nella notte. Nell'estate la temperatura del suolo va diminuendo verso lo strato invariabile; nell'inverno invece va aumentando; e la profondità dello strato invariabile dipende, in ogni caso, dalla conducibilità del suolo.

L'azione solare non ha luogo sulle grandi masse d'acqua come sulla superficie della terra. Il riscaldamento è diminuito dalla poca conducibilità dell'acqua, dalla sua grande capacità calorifica, dall'evaporazione, e dai movimenti che in essa produconsi per la temperatura diversa dei varj strati. Il raffreddamento è pure diminuito principalmente per la caduta degli strati raffreddati. Perciò nella temperatura dell'aria sovrapposta alle grandi masse d'acqua, non si scorgono quelle grandi variazioni periodiche del giorno e dell'anno che si osservano verso il centro dei continenti. Ciò accade anche nelle piccole isole e sulle coste dei continenti, ove la temperatura è influenzata dal contatto del mare.

Poichè l'acqua marina non possiede un massimo di densità al di sopra del punto di sua congelazione, la temperatura del mare deve andare diminuendo a misura che ci approfondiamo nei suoi strati. Ciò accade infatti nei mari situati nei tropici; ma è singolare l'osservazione che la più bassa temperatura trovata nelle più grandi profondità è di 2°, 2. È anche più singolare il fatto che verso il polo la tempera-

tura degli strati più profondi del mare è pure di 2°, 2, per cui quivi la temperatura del mare va crescendo verso il fondo. Prima delle esperienze di Hermann si credeva che l'acqua del mare avesse un massimo di' densità a circa 2°, ed allora si spiegava il fatto dello equilibrio di temperatura degli strati più profondi del mare ai poli ed all'equatore; ma oggi che è costatato che l'acqua del mare non ha massimo di densità al di sopra del punto di congelazione è difficile spiegare questo fenomeno. Si può ammettere, per ispiegarlo, l'esistenza ad una grandissima profondità di una corrente diretta dall'equatore verso i poli. Recenti osservazioni mostrano difatto l'esistenza di correnti aventi l'indicata direzione. Nei mari del Chilì e del Perù, Humboldt ha trovato una corrente diretta dal Sud al Nord che porta fino al parallelo del Capo Bianco le acque fredde delle regioni Australi: si è pure osservata una vasta corrente d'acqua calda, che dopo essersi sollevata ed aver ripiegato nel golfo del Messico e quindi sboccata dallo stretto di Bahama, si muove dal Sud al Nord ad una certa distanza dalle coste degli Stati-Uniti; ad un certo punto questa corrente biforcasi, uno dei suoi rami segue le Orcadi e la Norvegia, l'altro torna verso l'Equatore, passando a qualche distanza dalle coste del Portogallo.

Il freddo eccessivo che si produce in vicinanza del polo boreale durante il soggiorno del sole al di sotto dell'equatore, a motivo dell'irraggiamento verso gli spazi planetarj, favorito dagli alti-fondi e dai numerosi continenti, produce la congelazione delle acque a delle grandi profondità; ma al ritorno della bella stagione avviene la rottura dei ghiacci, e delle immense isole di ghiaccio di 20 a 25 piedi di grossezza e di più di 100 leghe quadrate di estensione galleggiano sulle acque, trascinate dalle correnti; queste masse enormi spesso si spezzano incontrandosi, e i frammenti accumulati formano allora delle montagne di ghiaccio che s'innalzano spesso 500 piedi al disopra della superficie del mare. Queste grandi masse di ghiaccio che divengono galleggianti al ritorno del sole si sono formate per la maggior parte sulle coste; ma secondo il capitano Scoresby formansi anche delle masse di ghiaccio in alto mare, a più di 20 leghe dalle coste. È sol-

tanto dopo il disgelo che i mari polari divengono accessibili ai bastimenti destinati alla pesca della balena. La temperatura del polo australe è molto più dolce, a motivo della profondità dei mari e dell'assenza di grandi terre; sembra anzi che al di là della latitudine delle Nuove Orcadi e delle Nuove Shetland, che formano una barriera di ghiaccio, si trovi un mare libero, che si estenda fino al polo.

Nei laghi profondi d'acqua dolce, al di sotto dello strato fino a cui penetra il calore dell'estate, la temperatura è costante, ed eguale a 4°; e ciò a motivo del massimo di densità dell'acqua dolce a questa temperatura. Allora la temperatura della superficie non può discendere al di sotto di 4° se non quando tutta la massa ha presa questa temperatura. Perciò la congelazione non accadrà che con un freddo tanto più intenso e tanto più prolungato quanto più profondo sarà lo strato liquido; perciò l'esistenza nell'acqua dolce di un massimo di densità superiore a 0° favorisce molto la congelazione; giacchè se il massimo di densità fosse a 0°, tutta la massa dovrebbe prendere la temperatura di 0°, prima di cominciare a gelare. È facile osservare che dopo il disgelo la temperatura della intera massa deve inalzarsi a 4° prima che gli strati superiori si riscaldino maggiormente.

Nei fiumi, le acque non avendo generalmente una grande profondità, il loro movimento tende a stabilire l'eguaglianza di temperatura in tutta la massa. Quindi è che la congelazione non può accadere in mezzo alla corrente dei fiumi, se non quando tutta la massa si è raffreddata fino a 0; ma lungo le rive la congelazione è più pronta perchè ivi l'acqua è meno profonda ed è in contatto del suolo, che si raffredda molto più rapidamente dell'acqua.

Temperatura media di un luogo. La temperatura media di un luogo deducesi da una serie di temperature medie annuali osservatevi. Queste deduconsi dalle temperature medie dei diversi mesi dell'anno, le quali stabilisconsi colla determinazione della temperatura media dei varj giorni del mese.

La temperatura media del giorno, è la media di un gran numero di osservazioni della temperatura dell'aria di un determinato luogo, fatte a piccoli intervalli nel corso del giorno.

La determinazione della temperatura dell'aria di un dato luogo è un'osservazione che esige delle precauzioni importanti. Essa non dovrà mai praticarsi in un luogo rinchiuso, come per esempio entro una stanza, ma bensì all'aria aperta. Conviene inoltre sottrarre il termometro all'influenza dei raggi diretti del sole e di quelli ancora che possono esser riflessi da qual che muro e dal terreno; si colloca perciò all'ombra di un edifizio, e sempre esposto al nord; e per difenderlo dal calor riflesso dal suolo si sospende fra due estesi dischi che ne intercettano i raggi. Questi dischi sono riuniti per mezzo di aste verticali di legno, e l'insieme costituisce una specie di gabbia cilindrica che gira intorno ad un asse centrale (*Tav.* VIII, *Fig.* 240). Il termometro è fisso esternamente ad una delle accennate aste verticali. Quest'apparecchio è quello adoprato nella maggior parte degli osservatorj metereologici. Si tiene costantemente esposto al Nord, perchè in questa guisa non riceve direttamente i raggi del sole che per poche ore la mattina e la sera, dall'equinozio di primavera fino all'equinozio di autunno; ma allora si gira onde porre il termometro all'ombra.

La temperatura media del giorno potrebbe ottenersi con sufficiente esattezza, facendo soltanto 24 osservazioni, una ogni ora, e dividendo per 24 la somma delle temperature osservate. L'esperienza ha però dimostrato che si poteva ottenere questa media temperatura in due modi differenti: 1.° prendendo la media di tre osservazioni fatte, la prima al levare del sole, la seconda due ore dopo mezzo giorno, la terza al tramonto del sole; 2.° prendendo la media delle due temperature massima e minima del giorno, indicate da un termometrografo.

La temperatura media di un mese è la somma delle temperature medie di tutti i giorni del mese, divisa pel numero di questi giorni.

La temperatura media dell'anno è la somma delle temperature medie dei 12 mesi, divisa per 12. Ma è importante osservare che si giunge allo stesso resultato o presso a poco allo stesso con altri due metodi: 1.° prendendo soltanto la media del solo mese di ottobre; 2.° prendendo la mediate mpe-

ratura corrispondente ad una sola ora del giorno, che è nei nostri paesi, presso a poco l'ora delle 9 antimeridiane.

Infine non cercasi la temperatura media dell'anno che per giungere alla *temperatura media del luogo* in cui si son fatte le osservazioni. Questa è la media di molte medie annue. Se un clima potesse essere in un modo indefinito progressivamente caldo o progressivamente freddo, non converrebbe cercare la sua temperatura media, la quale non esisterebbe, ma converrebbe invece cercare la legge della progressione crescente o decrescente di questa temperatura; ma tutte le osservazioni tendono a dimostrare che tutti i climi della terra sono stabili, e che i loro cambiamenti non sono che delle oscillazioni più o meno estese. Adunque esiste una temperatura media propria ad ogni luogo della terra.

La temperatura media annua di un luogo dipende principalmente dalla latitudine e dall'altezza sul livello del mare; ma l'azione di queste due cause è modificata da un' infinità di azioni accidentali e locali, come per esempio dalla vicinanza dei grandi mari e delle grandi catene di montagne, dalla natura del suolo, dalla direzione dei venti regnanti, e perfino dalla coltivazione, giacchè è oggi indubitato che essa varia con quest'ultimo elemento e specialmente col diboscamento. Così confrontando le osservazioni termometriche fatte a Firenze per ordine dell'Accademia del Cimento, verso la fine del XVI secolo, e quelle fatte fra il 1820 e il 1830, si osserva che gl'inverni si sono fatti un po' meno freddi e le estati un po' meno calde; e quest'effetto deve certamente attribuirsi ai diboscamenti che si son fatti in Toscana dopo quella prima epoca.

Delle temperature medie alle differenti latitudini. Humboldt è stato il primo fisico che abbia raccolto i resultati di molte osservazioni in proposito per dedurne delle leggi generali. Riunendo insieme tutti quei punti della sfera terrestre in cui la temperatura media è la stessa, Humboldt ha tracciato delle linee che ha chiamato *linee isoterme*. Queste linee non sono resultate nè parallele all'equatore, nè parallele fra loro. Ad eguaglianza di latitudine la temperatura media è più alta in Europa ed in Affrica che in America ed in Asia. L'*Equatore*

Termale, ossia la linea che passa dai punti più caldi di tutti i meridiani, non coincide coll'equatore geografico, s'innalza di alcuni gradi al Nord nell' interno dell'Affrica, taglia l'equatore terrestre in due punti situati l'uno sulla costa del Perù, l'altro nell'isola di Sumatra, e discende verso il Sud in mezzo al Grande Oceano. I *poli freddi* della terra nemmeno coincidono coi poli terrestri. Resulta da molte osservazioni fatte dai visitatori delle regioni polari che il punto più freddo dell'emisfero boreale della terra è situato al Nord dello stretto di Behring, a 80° di latitudine ed a 107° di longitudine ovest da Parigi. La temperatura media del polo geografico settentrionale sembra essere di — 16°, e quella del polo freddo nord di — 23°. Lo spazio compreso fra due linee isoterme vien detto *Zona Isoterma*. Così per esempio la zona isoterma compresa fra le linee di 10° e di 5° è detta zona di 10° a 5°. L'emisfero boreale della terra è stato diviso in sei zone isoterme, cioè:

1.° La zona di 30° a 23°,5 che è la zona torrida o equatoriale.

2.° La zona di 23°,5 a 20, nella quale trovasi compreso Algeri.

3.° La zona di 20° a 15°, nella quale sono comprese le coste della Francia sul Mediterraneo, all' Est le coste del Giappone, ed all'Ovest il Golfo del Messico.

4.° La zona di 15° a 10°, la quale comprende quasi tutta la Francia, all'Est Pechino, ed all' Ovest Nuova-York e Filadelfia.

5.° La zona di 10° a 5°, la quale comprende Berlino, Copenhaghen, Stocolma, Quibecca e Kendal.

6.° La zona da 5° a 0°, che comprende la Siberia ed i paesi più settentrionali d'America. Dopo questa zona vengono le regioni polari.

Dei Climi per ciò che dipende dalla temperatura. Il clima di un luogo non è soltanto caratterizzato dalla sua temperatura media. Difatti possono esservi due punti della terra aventi la stessa temperatura media ed un clima diversissimo, cioè a dire che nei medesimi giorni e mesi dell'anno le temperature sieno diversissime. La temperatura media di Nuova-York è di 12°, 1, e quindi poco diversa da quella di Parigi; ma alla Nuova-York il mese più caldo ha 27°, 1 di temperatura media, ed il

mese più freddo — 3°; mentre a Parigi la temperatura media del mese più caldo è 18°,5, e quella del mese più freddo di + 2°,3. Perciò i climi sono caratterizzati, oltre che dalla temperatura media dell'anno, anche dalle variazioni di temperatura dei giorni, dei mesi e delle stagioni.

Sotto il rapporto della temperatura media dell'anno il clima può dirsi *ardente* nella zona torrida, *caldo* nella zona di 23°,5 a 20°; *dolce* nella zona di 20° a 15,° *temperato* nella zona di 15° a 10°, *freddo* nella zona di 10° a 5°, *freddissimo* nella zona di 5° a 0°, *glaciale* nella zona in cui la temperatura media è al di sotto di 0°.

Sotto il rapporto poi delle variazioni di temperatura a seconda dei giorni, dei mesi e delle stagioni, i climi appartenenti ad una zona isotermica possono distinguersi in *costanti*, *variabili* ed *eccessivi*; chiamando costanti quelli che non offrono delle grandi differenze nel corso dell'anno fra gli estremi di caldo e di freddo; variabili quelli che offrono delle differenze notevoli; ed eccessivi quelli che ne offrono delle grandissime. Il quadro seguente offre un esempio di questa distinzione.

Nomi dei luoghi	Temperatura media dell' anno	Temperatura media del mese più caldo	Temperatura media del mese più freddo.	Differenza
Funchal....	20°,3	24°,2	17°,2	7°,0
Parigi......	10°,6	18°,5	2°,3	16°,2
Londra.....	10°,2	18°,0	3°,2	14°,8
Nuova-York	12°,1	27°,1	— 3°,7	30°,8

Funchal ha un clima costante; Londra e Parigi hanno dei climi variabili, e Nuova-York un clima eccessivo.

Temperatura a diverse altezze al di sopra del suolo. Ognun sa che la temperatura dell'aria diminuisce gradatamente a misura che ci solleviamo nell'atmosfera. In tutte le ascensioni aereostatiche è stato costatato questo fatto, e in quella di Gay-Lussac, che è stata una delle maggiori, essendo esso asceso fino all'altezza di 6979 metri, il termometro discese

fino a — 9°,5. È facile spiegare questa diminuzione di temperatura. Infatti la quantità dei raggi solari assorbiti dall'atmosfera, diminuisce al diminuire della sua densità, ed inoltre l'aumento di capacità calorifica che subisce l'aria col diminuire della pressione, contribuisce anch'esso considerevolmente ad impedire l'accrescimento della temperatura.

De-Saussure dalle sue osservazioni fatte sia sulla cima del Monte Bianco sia a delle grandi altezze al di sopra del lago di Ginevra, credè di potere stabilire che la temperatura dell'aria diminuiva di un grado per ogni 144 metri di altezza; ma Ramond e De-Humboldt, dopo un grandissimo numero di osservazioni stabilirono che detta diminuzione non si faceva in un modo uniforme, e che variava non solo colle diverse altezze, ma anche colle varie località. È costatato dalle esperienze di Humboldt, che inalzandosi al di sopra di 3000 metri la temperatura diminuisce molto più rapidamente di quello che inalzandosi al di sopra dei 1000, e invece molto più lentamente inalzandosi al di sopra dei 5000; inoltre tale diminuzione è più rapida nei paesi caldi che nei freddi.

Nevi perpetue. La presenza delle nevi nell'alto dei monti è necessariamente dovuta al freddo degli alti strati dell'atmosfera. Non di meno è stato osservato, che a circostanze eguali l'aria è più fredda presso i monti che ad una stessa altezza sopra una pianura; ed è perciò che la condensazione delle nubi si fa a preferenza verso l'alta cima dei monti. Si ammette generalmente che due cause diverse concorrano al maggior raffreddamento dell'aria presso i monti: primieramente l'irraggiamento notturno dei monti stessi, il cui effetto deve superare quello del maggior riscaldamento che provano in grazia della maggiore intensità dei raggi del sole ad una grande altezza; secondariamente la più rapida evaporazione dell'umidità di cui sono imbevuti, a motivo della diminuita pressione.

In tutti i climi le nevi sono permanenti a delle altezze più o meno grandi dal suolo. In generale il limite in cui cominciano le nevi perpetue s'innalza a misura che ci avviciniamo all'equatore. Nelle Indie il limite delle nevi perpetue è a circa 4800 metri sopra il livello del mare, nei Pirenei è a 2793 metri, nelle Alpi è a 2373. Ma le circostanze locali esercitano una grandissima influenza sull'altezza del limite

delle nevi perpetue. In ogni luogo essa dipende non solo dalla temperatura media annua, ma dalla temperatura del mese più caldo; perciò detto limite va soggetto a delle oscillazioni, cioè a dire si alza o si abbassa con questa temperatura. La quantità di neve accumulatasi durante l'inverno, la vicinanza dei mari, lo stato più o meno nuvoloso del cielo, e la massa delle montagne vi esercitano pure una grande influenza.

Delle variazioni della pressione atmosferica. Già indicammo trattando del barometro che questo istrumento prova in uno stesso luogo sulla superficie della terra delle variazioni continue, alcune delle quali sono diurne o periodiche, altre accidentali. L'osservazione ha dimostrato che le epoche delle altezze massime e minime del barometro durante il giorno variano colle stagioni. In generale la massima elevazione accade nell'inverno alle nove del mattino ed alle nove della sera, e la minima alle 3 pomeridiane. In estate la massima elevazione accade alle 8 della mattina, ed alle 11 della sera, e la minima alle 4 pomeridiane. Nella primavera e nell'autunno le epoche delle altezze massima e minima sono comprese fra quelle della estate e dell'inverno. Nei climi temperati, queste giornaliere variazioni sono quasi costantemente modificate dalle variazioni accidentali; ma presso l'equatore esse avvengono con tale regolarità che l'ispezione del barometro può servire quasi a indicare le ore del giorno. Inoltre all'equatore le ore delle massime e minime altezze non variano colle stagioni, ma sono sempre costanti. La causa di questi movimenti diurni del barometro sembra legata colle variazioni diurne della temperatura, le quali cagionano delle correnti d'aria periodiche, ora ascendenti ed ora discendenti, e quindi ora una diminuzione, ed ora un aumento di pressione.

Le variazioni accidentali del barometro sembrano dipendere dai venti e dallo stato piovoso o tempestoso del cielo. A misura che ci avviciniamo all'equatore, il barometro si fa sempre meno sensibile a queste variazioni. In generale il barometro sale quando il cielo si fa sereno, discende quando il tempo si guasta, e specialmente quando si avvicina la tempesta; sale ancora pei venti freddi e discende pei venti caldi. Allorquando ad una subitanea variazione barometrica tien dietro un cambiamento di tempo, è da prevedersi che questo

cambiamento sarà di corta durata. Se invece il barometro si abbassa o ascende gradatamente per varj giorni di seguito, senza che il tempo cangi; il cambiamento di tempo, sia in cattivo che in buono, a cui prelude, sarà di lunga durata. Quando poi le variazioni barometriche sono frequenti, indicano un tempo poco sicuro e variabile. Qual sia la causa dell'influenza che i venti esercitano sulle variazioni barometriche non è ben noto; sembra però che le variazioni che accadono in Europa nel barometro pel buono e pel cattivo tempo, dipendano dai venti che portano in questa regione il buono e il cattivo tempo, imperocchè i venti caldi, che fanno abbassare il barometro, sono presso di noi forieri di pioggia, mentre i freddi, che lo fanno inalzare, sono forieri di serenità di cielo. I rapidi abbassamenti del barometro che annunziano la tempesta pare che dipendano da rarefazioni d'aria, le quali sono cagioni di raffreddamento, e quindi di formazioni di nubi e di pioggia. Difatti, è certo, che durante una tempesta vi sono degli sbilanci considerevoli nella densità dell'aria.

È dunque l'agitazione dell'atmosfera la causa dei movimenti della colonna barometrica, e l'esperienza giornaliera lo dimostra; ma come avviene che quest'agitazione anche quando si produce alla superficie del globo, che i venti, e le rapide rarefazioni e condensazioni dell'aria che vi si producono sì di frequente cangino il peso dell'intiera colonna atmosferica, e sieno così la causa delle variazioni barometriche? Immaginiamo una colonna d'aria che s'innalzi al di sopra di un punto qualunque della terra, per esempio al di sopra di Firenze, fino ai limiti dell'atmosfera, cioè a dire fino all'altezza di circa 100 chilometri. Ognuno degli strati orizzontali di questa immensa colonna concorre dal canto suo alla pressione che si esercita sul suolo, e conseguentemente sul mercurio del barometro; presso a poco come in un vaso pieno di acqua ciascuno degli strati orizzontali concorre alla pressione che sopporta il fondo. Agitando l'acqua del vaso, facendovi nascere delle rapide correnti in ogni senso, il fondo se ne risente, e le pressioni non rimangono più eguali in tutti i suoi punti; esse aumentano o diminuiscono secondo la direzione, l'estensione e la velocità dei movimenti. Lo stesso, ed in maggior grado deve accadere nella nostra colonna atmosferica, la

quale prova nei diversi chilometri della sua altezza delle incessanti agitazioni. Queste agitazioni, accadano alla superficie del suolo ovvero più in alto, debbono comunicarsi alla intiera colonna, ed in grazia di esse i varj punti del suolo non devono essere più egualmente premuti. L'intiera atmosfera può paragonarsi ad un grande oceano, continuamente agitato, e le cui onde sieno immense; è chiaro adunque che il nostro barometro situato al fondo di quest'oceano debba risentire gli effetti delle sue continue ondulazioni.

Dei venti. La causa generale dei venti risiede nell'ineguale distribuzione del calore nell'aria. Tosto che una sezione dell'atmosfera è più riscaldata di un'altra, si dilata, vi si forma un vuoto parziale, e l'aria circondante portandosi innanzi per riempire questo vuoto, acquista un movimento progressivo. che costituisce il vento. La direzione dei venti è modificata dagli ostacoli che incontrano; essi non riflettonsi, ma seguono la direzione delle superfici che vengono a percuotere. Per indicare in qual direzione spira il vento basterebbero i quattro punti cardinali; ma si suddivide l'orizzonte, nel centro del quale si suppone sempre l'osservatore, in altri quattro punti intermedj, ed anche in altre suddivisioni equidistanti fra loro, per avere con maggior precisione l'andamento dei venti. Le varie linee che dal centro dell'orizzonte s'immaginano condotte ai varj punti della sua periferia, e che si rappresentano nelle bussole marine e negli anemoscopj per indicare la direzione delle correnti aeree, chiamansi rombi, e formano la così detta *rosa dei venti*. Fino dai più antichi tempi se ne distinsero quattro, corrispondenti ai quattro punti cardinali, cioè *tramontano* (nord), *levante* (est), *ostro* o *mezzodì* (sud), *ponente* (ovest). Gl'intermedj a questi furono distinti dall'ateniese Andromico Cirreste e sono: *greco* (nord-est), *scirocco* (sud-est); *libeccio* (sud-ovest), *maestro* (nord-ovest).

Le *ventarole* o *anemoscopi* indicano la direzione generale del vento alla superficie della terra, e si collocano sulla cima delle torri, dei campanili ec., affinchè non abbiano azione sopra di esse i piccoli cambiamenti di direzione che il vento può provare per le accidentalità del suolo. Le nubi ci mostrano la direzione delle correnti superiori, le quali spesso sono di-

verse da quelle che ha il vento che soffia sulla superficie terrestre. L'intensità dei venti varia entro limiti estesissimi, dall'agitazione leggerissima di una brezza, fino al movimento impetuoso dello uragano. È difficile misurare esattamente la velocità del vento; non di meno negli osservatorj meteorologici si misura approssimativamente dalla pressione esercitata contro una molla, mediante certi istrumenti conosciuti col nome di *anemometri*. Secondo il meteorologo Kaemtz il migliore anemometro è quello di Woltmann. Consiste in una banderuola ordinaria munita dal lato volto verso il vento, di un asse orizzontale che porta due piccole ali da mulino. La corrente aerea dà prima alla banderuola una conveniente direzione, dipoi pone le ali in movimento. Queste girano con tanta maggior rapidità quanto più forte è il vento. Per contare i giri, l'asse porta una vite perpetua che ingrana in una ruota dentata, e mediante un sistema di ruote simili pone in movimento un ago sopra un quadrante, che indica il numero dei giri dell'asse in un dato tempo. Per dedurne la velocità del vento, basta scegliere un giorno calmo, e percorrere coll'istrumento, in una vettura o sopra una strada ferrata, una distanza nota in un dato tempo. È evidente che l'effetto sarà lo stesso, come se l'istrumento essendo in riposo l'aria fosse in movimento. Allora si costruisce una tavola che c'insegna, qual'è la velocità del vento che fa girare le ali 40, 50, o 60 volte in un minuto. Si potrebbe anche regolare l'istrumento, situandolo sopra una pianura scoperta, ed osservando a che distanza il vento trasporta in un minuto dei corpi leggieri, come dei piccoli pezzi di carta, delle piume, e delle foglie. La velocità delle correnti aeree superiori può misurarsi dalla rapidità colla quale l'ombra di una nuvola si muove sulla superficie della terra.

I venti si distinguono in *periodici* ed in *accidentali*. Fra i primi si distinguono le *brezze*, i *venti mussoni* e i *venti alisei*. Le brezze sono venti che soffiano sulle coste marine, nel giorno dal mare verso la terra, e nella notte nella direzione contraria. La brezza del giorno o del mattino, ossia il *vento di mare* comincia alcune ore dopo il levar del sole, e cessa verso le 4 o le 5 della sera. La brezza della notte o della sera, ossia il *vento di terra*, comincia al tramonto del

sole, e dura fino al ritorno dell'aurora. Le brezze spirano durante tutto l'anno nella zona torrida, ed in estate solamente nella zona temperata, e non si fanno sentire che ad una piccola distanza dalle coste, sulla terra e sul mare. I venti mussoni regnano nella zona torrida, e principalmente sui mari che formano vasti golfi. Questi venti soffiano per un certo tempo in una direzione, e in direzione contraria durante il resto dell'anno. La loro direzione non è mai nè paralella nè perpendicolare all'equatore, tende sempre verso l'emisfero che è più riscaldato dal sole, e cambia quando il sole passa dalla verticale del luogo che si considera. I venti alisei infine soffiano costantemente dall'est all'ovest nella zona torrida.

Causa dei venti periodici. Abbiamo detto che la causa generale dei venti, si riduce alla differenza di temperatura di un luogo da un altro che gli resta vicino. Difatti supponiamo che due colonne d'aria contigue abbiano la stessa temperatura in tutta la loro altezza; esse staranno in equilibrio; ma questo resterà rotto appena la terra sulla quale riposano sarà disugualmente riscaldata. Infatti la colonna d'aria che resterà a contatto colla parte più riscaldata si dilaterà; il suo limite superiore s'inalzerà, e la massa d'aria che si sarà sollevata sopra il livello delle colonne aeree circostanti si precipiterà su di queste, e produrrà in alto un vento che soffierà dal paese più caldo verso il più freddo. Intanto anche al livello del suolo riman rotto l'equilibrio, poichè le colonne circostanti a quella dilatata dal calore vengono caricate d'aria che sopra di esse si versò in alto, mentre il peso della colonna riscaldata vien diminuito; perciò l'aria in basso si spinge dalle parti più fredde verso le più calde. L'opposto avviene se una parte del suolo su cui si appoggiano le colonne aeree si raffredda. Quindi è evidente che se due regioni vicine sono disegualmente riscaldate, negli strati superiori dell'aria si produrrà un vento che dalla regione calda anderà verso la fredda, ed alla superficie del suolo si formerà una corrente contraria. Una semplicissima esperienza del Franklin rappresenta benissimo questo fatto. Se si apre in inverno una porta che metta in comunicazione una stanza calda con una fredda si producono due correnti di aria, l'una superiore che va dalla

stanza calda alla fredda, l'altra inferiore in senso contrario; e di ciò ne avverte l' inclinazione della fiaccola di due candele poste l'una in alto, l'altra in basso della porta.

Dopo quanto abbiamo esposto è facile intendere la causa dei venti periodici. Ecco difatti come possiamo spiegarci la produzione delle brezze. Nelle prime ore del mattino la temperatura del continente e del mare è quasi la stessa, e però v' ha equilibrio nell'atmosfera; ma coll'alzarsi del sole, il terreno si scalda più dell' acqua, quindi nasce una corrente in alto dalla terra verso il mare, ed in basso dal mare verso la terra. Al momento della massima temperatura del giorno questa brezza acquista la massima forza; ma sulla sera l'aria del continente si raffredda, e al tramontar del sole acquista la medesima temperatura del mare; quindi torna la calma. Nella notte invece la terra si raffredda più dell'acqua, ed allora regna il vento di terra.

Halley e Hadley ci hanno in un modo simile dato la seguente spiegazione dei venti alisei. Le regioni equatoriali sono le più calde della terra, mentre che andando verso i poli la temperatura va gradatamente scemando: si forma adunque una corrente superiore dall'equatore verso i poli ed una inferiore dai poli all'equatore; quindi dovremo avere un vento costante di tramontana nell'emisfero boreale, un vento di mezzodì nell'emisfero australe. Ma queste due direzioni, combinandosi col moto d'occidente a oriente impresso all'aria dalla rotazione della terra, daranno luogo ad una corrente resultante, la quale si ravvicinerà tanto più alla direzione occidentale quanto più ci avvicineremo all'equatore. Ma la velocità di questa corrente nella direzione di occidente a oriente non acquista mai la velocità di cui sono animati i varj punti corrispondenti della superficie della terra, ond'è che gli oggetti terrestri che si trovano situati sul passaggio di questa corrente, vengono a colpirla coll'eccesso della loro velocità, per cui ad un osservatore situato presso l'equatore, il quale si crede immobile, deve sembrare che l'aria si muova da oriente a occidente, poichè il movimento della terra si fa nel verso contrario. Adunque egli è solo in apparenza, che i venti alisei, che regnano nella zona torrida, soffiano da oriente; ma è un'apparenza che produce una completa illusione.

La maggiore estensione che sotto l'equatore ha il continente in certe parti della terra, e la differenza di temperatura che sempre esiste fra questa e il mare, turbano in certi luoghi la regolarità dei venti alisei, e generano i venti mussoni, i quali per sei mesi spirano in una direzione e per sei mesi nella direzione contraria. Nella stagione calda, i continenti si scaldano molto più del mare, e danno origine a delle correnti dirette in basso dal luogo più freddo al luogo più caldo. Nell'inverno invece il continente, irraggiando più del mare, si raffredda di più, e dà origine a delle correnti dirette in basso, in senso contrario delle precedenti.

I venti accidentali soffiano irregolarmente, ora in una direzione ed ora in un'altra; talvolta sono appena sensibili, tale altra hanno una celerità di 30 leghe l'ora. Questi ultimi sono gli *uragani*, i quali sono capaci di sradicare gli alberi e di rovesciare gli edifizj. Gli uragani sono frequenti nella zona torrida, e in tutti i climi a temperatura elevata; nei nostri climi a temperatura moderata sono più rari e meno violenti. È probabile che i venti accidentali provengano in generale dalla diminuzione di pressione che accompagna necessariamente la condensazione del vapore atmosferico, giacchè la formazione delle nubi deve produrre un vuoto parziale verso il quale l'aria circondante si precipita.

Condensazione dei vapori nell'atmosfera. — Delle nebbie e delle nubi. La subitanea condensazione, per una causa qualunque di raffreddamento, di una porzione del vapore acquoso contenuto nell'atmosfera, lo rende visibile; quel vapore si presenta allora sotto la forma di nebbia o di nube. Il vapore acqueo dell'atmosfera nel momento in cui si precipita, si cambia, secondo il De-Saussure, in una moltitudine di piccole vescichette o sfere cave, le quali avrebbero uno stato intermedio fra l'acqua liquida e l'acqua allo stato gassoso. Le nebbie e le nubi sarebbero quindi formate dall'aggregazione di queste vescichette. Così il De-Saussure spiega come il vapore condensato rimane sospeso nell'atmosfera, e come le nubi ancorchè densissime si sostengono in aria. Difatti, secondo questo fisico, le vescichette in questione sarebbero formate, a guisa delle bolle di sapone, di un sottilissimo velo di acqua, nell'interno del quale sarebbe racchiusa dell'aria satura di vapore, la quale,

essendo meno densa dell'aria non satura, sarebbe la cagione della sospensione delle nubi nell'atmosfera. L'ascensione delle nebbie e delle nubi sotto l'azione del calor solare sarebbe quindi facile a spiegarsi. I globuli di cui sono formate si riscaldano per l'azione dei raggi solari, e l'aria in essi contenuta necessariamente si dilata e diviene assai più leggera dell'atmosfera, la quale è dotata di assai minore facoltà assorbente; conseguentemente essi ascendono fin dove la densità dell'atmosfera è eguale alla loro. Durante la notte le nubi si raffreddano, benchè lentissimamente, perchè continuano a ricevere il calore dell'irraggiamento terrestre; non di meno si osserva generalmente che dopo il tramonto del sole le nubi si abbassano sensibilmente. Le nebbie che formansi durante la notte nella stagione fredda, non s'inalzano spesso affatto durante il giorno, e ciò perchè i raggi del sole non sono abbastanza caldi per dilatare sufficientemente l'aria che si trova rinchiusa nelle loro vescichette; quindi invece d'inalzarsi o di disperdersi rimangono stazionarie sulla superficie della terra.

Le nubi in generale si distribuiscono nell'atmosfera a strati. L'altezza di questi strati varia da mille fino a dodici mila metri; difatti veggonsi talora delle nubi toccare la cima di colline assai basse, mentre che salendo sulla cima di altissimi monti, si veggono delle nubi che appajono tanto alte quanto quelle che scorgonsi dalle pianure. Gay-Lussac, asceso col suo globo aereostatico all'altezza di 7000 metri sul livello del mare, vedeva al di sopra di sè delle nubi ad un'altezza grandissima.

Il vapore acquoso che forma le nubi si condensa in quelle parti dell'atmosfera dove il freddo è maggiore, e quindi ordinariamente negli strati più alti. Non di meno vi sono delle circostanze che raffreddano parzialmente un punto qualunque dell'atmosfera, e producono la condensazione di quel vapore che vi si trova; così per esempio una rapida rarefazione dell'aria può essere cagione di raffreddamento, e quindi di condensazione di vapore; come pure l'incontro di due correnti di aria, l'una calda e l'altra fredda, e più o men sature di vapore, può dar luogo ad una eguale condensazione. Talvolta insieme al vapore acquoso si condensa qualche prodotto volatile che ha emanato dal suolo. Così non di rado avviene che le nebbie abbiano un cattivo odore. Le nebbie che si di fre-

quente ricuoprono le città le più manifatturiere dell' Inghilterra, hanno l'odore dei prodotti volatili della combustione del carbone fossile, che con tanta profusione in quelle si consuma.

Della Pioggia. Se la temperatura di una nube già molto carica di umidità, diminuisce subitamente per una causa qualunque, il vapore vescicolare da cui è composta si precipita sotto forma di pioggia. La maniera colla quale accade la trasformazione delle vescichette in gocce d'acqua non è nota, e neanco sono ben note le circostanze di tale trasformazione; non di meno sembra che i venti e le correnti di aria vi abbiano una grande influenza; infatti è raro che nei nostri climi piova senza cambiamento di vento. Del resto questa parte della scienza è sempre assai oscura; e saranno necessarie infinite osservazioni, prima di poter presentare qualche dato sicuro sulle cause immediate della pioggia e sul modo con cui si forma. L'istrumento che serve a misurare la quantità d'acqua che in un dato tempo piove sopra una determinata estensione di terreno, è chiamato *Pluviometro.* Consiste in un vaso cilindrico (*Tav.* VIII, *Fig.* 241) di circa 20 centimetri di diametro ed alto 30, aperto in alto, terminato in basso da un tubo *c d*, che si ripiega in alto, e che è diviso in centimetri ed in millimetri. A pochi centimetri dall'orlo del cilindro v'è un diaframma *a* fatto ad imbuto che impedisce l'evaporazione dell' acqua raccolta sul fondo del recipiente. L'altezza dell'acqua nel tubetto indica la quantità dell'acqua piovuta, ossia la grossezza dello strato di pioggia. Si costruiscono dei pluviometri alquanto diversi da quello descritto. Il recipiente raccoglitore è situato all' esterno su di un tetto elevato e libero dall' influenza di prossime mura; quello misuratore è nell' interno dell'osservatorio, e comunica col primo mediante un tubo fornito di robinetto. Le dimensioni dell'uno sono piuttosto considerevoli; quelle dell' altro assai minori; ma le loro capacità sono in un determinato rapporto. Perciò facendo scolare dal recipiente esterno nell' interno l'acqua raccolta durante una pioggia, dall' elevazione del liquido in quest'ultimo, deducesi quella dell'altro. Il recipiente misuratore si fa di cristallo, affinchè possa facilmente scorgersi il

livello del liquido nel suo interno, ed è fornito ai due lati opposti di due scale divise in centimetri e millimetri.

È stato osservato che in generale la quantità di pioggia che cade è tanto più grande quanto più ci avviciniamo all'equatore, mentre che il numero dei giorni piovosi aumenta a misura che ci avviciniamo ai poli. Questa regola è non di meno soggetta a delle eccezioni dipendenti dalle località. Così per esempio vi sono dei paesi caldissimi come il Basso Egitto, in cui piove pochissimo, e ciò forse dipende dalla natura sabbiosa del suolo, il quale riscaldandosi moltissimo pel calor solare si oppone alla condensazione delle nubi. È stato pure osservato che ad egual latitudine cade maggior quantità di acqua nei paesi montuosi che nei paesi di pianura. Inoltre cade più acqua sui monti che nelle pianure contigue; così per esempio all'ospizio del Monte S. Bernardo cade più acqua, fra pioggia e neve, che a Ginevra. Il quadro seguente indica la quantità media di acqua che cade annualmente in varj luoghi.

	poll. d'acqua
Isola di S. Domingo	114
Calcutta	76
Genova	32
Pisa	46
Napoli	35
Ginevra	29 ¾
Londra	19 ½
Parigi	19 ⅓
Pietroburgo	17

Cadono talvolta delle piogge abbondantissime; così per esempio a Bombay in un sol giorno son caduti 5 pollici d'acqua ed a Bajonna 10 pollici d'acqua in sei ore di tempo. A Genova, il 25 di ottobre 1822 cadde quasi 30 pollici di acqua, e questo è il resultato più rimarchevole che si possa citare in proposito.

Un'osservazione singolare è quella fatta nell'osservatorio di Parigi. Se si dispongono due pluviometri a differente altezza, si trova che nella stazione più bassa si raccoglie una maggior quantità di acqua. Il Matteucci ha costatato questo

fatto singolare, raccogliendo contemporaneamente l'acqua che piove sulla cima della torre della cattedrale di Pisa, e quella che cade al suo piede. Alcuni fisici spiegano ciò, ammettendo che le gocce della pioggia si accrescano cadendo, in grazia del condensarsi che fanno i vapori acquosi sulle medesime.

Delle nevi. La neve proviene da una condensazione prodotta da una causa analoga a quella della pioggia, ma nella quale i piccoli globuli d'acqua gelano in mezzo di un'atmosfera, la cui temperatura è al di sotto di zero. Questi piccoli globuli congelati si riuniscono insieme in un certo numero, e producono dei fiocchi irregolari. Se la neve si è prodotta in un tempo calmo e non è stata punto agitata, i suoi fiocchi presentano delle forme regolari, che riduconsi a delle specie diverse di stelle a sei raggi, i quali ora sono semplici ed ora più o meno ramificati, ed ogni raggio delle quali ed ogni ramificazione, consistono in piccoli prismi regolari a sei facce. (*Tav.* VIII, *Fig.* 242). Si può produrre artificialmente della neve introducendo dell'aria freddissima in una stanza molto calda e di cui l'aria sia satura di vapore: allora vedonsi cadere dei grani di acqua congelata. In alcuni paesi settentrionali, e sopra alcune cime delle Alpi si osserva della neve di color rosso. I naturalisti sono generalmente d'accordo nell'attribuire questo fenomeno alla presenza di una microscopica pianta crittogama distinta col nome di *Uredo Nivalis*.

La *grandine* deve avere un'origine simile a quella della neve; pur nonostante siccome alla sua formazione contribuisce anche l'elettricità, ne parleremo a suo luogo.

Della rugiada. La rugiada che si deposita sui corpi situati alla superficie terrestre quando il cielo è sereno, o dopo il tramonto del sole, o durante la notte finchè esso non risorge, è prodotta dalla precipitazione dell'umidità degli strati atmosferici in contatto della superficie terrestre, in conseguenza dell' irraggiamento nello spazio del calore acquistato durante il giorno. Il dottor Wells, a cui devesi la teoria della rugiada, ha osservato che dei termometri posti sull'erba durante una notte chiara e serena, indicavano spesso 4, 6 ed anche 8 gradi meno di un termometro simile posto 4 piedi al di sopra del suolo. Quando il cielo è coperto di nubi non è sen-

sibile la rugiada, imperocchè il calore irraggiato dalla superficie terrestre è dalle nubi rimandato sulla terra, presso a poco in egual quantità. Difatti il medesimo dottor Wells non ha mai osservato differenza nella temperatura dei termometri disposti nel modo testè indicato, quando il cielo è coperto. Parimente sotto gli alberi o presso gli edifizi, la rugiada non è mai abbondante, poichè questi oggetti impediscono il libero irraggiamento della terra; da ciò l'uso di piantare a spagliera i delicati alberi fruttiferi che temono la fredda rugiada del mattino. Il vento è pure di ostacolo alla rugiada, perchè portando esso continuamente dei nuovi strati d'aria in contatto dei corpi freddi, l'atmosfera non si satura mai di vapore, e quindi questo non può condensarsi. Tutti i corpi non si cuoprono egualmente di rugiada, e ciò perchè non si raffreddano tutti egualmente per irraggiamento. I corpi, la cui facoltà raggiante è considerevole, si raffreddano molto; tali sono, il vetro, la carta e le sostanze organiche come l'erba, le foglie ed il legno: è per questa ragione che la rugiada si deposita molto più abbondantemente su questi corpi che non sopra altri, i quali come i metalli irraggiano molto meno. A parità di condizioni relativamente all'irraggiamento, la quantità di rugiada che si deposita è in ragione della quantità di vapore acquoso che l'atmosfera contiene, ond'è che tutte quelle circostanze che tendono ad accrescere l'umidità dell'aria, come delle piogge recenti o delle deboli correnti di aria provenienti dal mare o da un lago, favoriscono la sua formazione.

La brina non è altro che rugiada congelata. Essa formasi quando la terra è bastantemente raffreddata dall'irraggiamento notturno, per convertire in ghiaccio il vapore acquoso, a misura che si precipita. Perciò tutto ciò che impedisce il libero irraggiamento della terra, come i muri, gli edifizi, gli alberi ec. impedisce ancora la formazione della brina.

GIUNTE AL PRESENTE VOLUME

Aggiunta al Capitolo della differente dilatabilità dei liquidi.
(Vedi pag. 247).

Abbiamo detto che il grado di dilatabilità dei differenti liquidi è variabile. – Si può aggiungere che nel maggior numero dei casi, la dilatazione di un liquido è in ragione inversa della sua densità –. Così l'etere è più dilatabile dello spirito di vino; questo dell'acqua, e l'acqua più del mercurio. È stata determinata con esperienze esattissime la dilatazione apparente di varj liquidi, nel loro passaggio dalla temperatura di zero a quella dell'acqua bollente. Alcuni di questi resultati sono indicati nel quadro seguente.

NOMI DELLE SOSTANZE	DILATAZIONE
Acqua	$\frac{1}{22}$ del suo volume primitivo
Acido idroclorico	$\frac{1}{17}$ —
Acido nitrico	$\frac{1}{9}$ —
Acido solforico	$\frac{1}{17}$ —
Alcool	$\frac{1}{9}$ —
Etere solforico	$\frac{1}{14}$ —
Olio d'oliva.	$\frac{1}{12}$ —
Essenza di Trementina	$\frac{1}{14}$ —
Acqua satura di sale	$\frac{1}{20}$ —
Mercurio	$\frac{1}{64}$ —

Aggiunta al Capitolo degli apparecchi di sicurezza delle macchine a vapore. (Vedi p. 318).

Bourdon ha immaginato recentemente un manometro metallico che può rimpiazzare con vantaggio i manometri a mercurio. - Il pezzo principale di questo manometro consiste in un tubo di rame curvo *B*, le cui pareti sono sottili e flessibili, (Vedi Fig. 243, tavola aggiunta) nell'interno del quale si fa agire la pressione del vapore. Una delle estremità di questo tubo è fissa al punto in cui termina il canale *A*, pel quale giunge il vapore che viene dalla caldaja: l'estremità *C* è chiusa e libera con tutto il resto del tubo. La sezione trasversale di questo tubo non è circolare, ma invece è un'ellisse il cui asse maggiore è di 11 millimetri ed il minore di 4. Quando il vapore della caldaja comunica coll'interno del tubo *B*, la pressione che esercita contro le sue pareti lo gonfia un poco, diminuendo per tal modo lo schiacciamento della sua sezione trasversa. Questa deformazione cagiona un cambiamento nella curvatura del tubo, il quale tende a raddirizzarsi sempre più, a misura che l'esterna pressione aumenta. Ne succede che l'estremità *C* si sposta e fa muovere un ago *D E F* al quale è unita mediante un'asta *C D*. Quest'ago mobile attorno al punto *E*, scorre colla sua estremità *F* su di un arco diviso, la cui graduazione è stata fatta in modo che indichi la pressione del vapore in atmosfere, dalla posizione dell'ago. — Il manometro metallico di Bourdon è molto più comodo degli altri manometri che abbiamo descritti, nei quali è sempre da temersi la rottura dei tubi di vetro; ma fa d'uopo assicurarsi di tratto in tratto, che le sue indicazioni si siano conservate esatte, e non abbiano cangiato in seguito alle modificazioni lente a cui potrebbe andar soggetto lo stato molecolare del tubo ricurvo, sotto l'azione prolungata della pressione che si esercita nel suo interno.

INDICE

DELLE

MATERIE CONTENUTE IN QUESTO VOLUME

NOZIONI PRELIMINARI.

1.° *Oggetto della fisica.* . . . Pag. 1
2.° *Proprietà generali dei corpi.*
Estensione . . . . » 4
Impenetrabilità . . . . . » 7
Divisibilità . . . . » 8
Porosità. . . . . » 10
Inerzia . . . . » 11
3.° *Nozioni generali sulle forze, sull'equilibrio e sul movimento.*
Definizione delle forze e del moto . . . . » 13
Rapporto tra le velocità e le forze. . . . . » *ivi*
Qualità delle forze . . . » 15
Moto uniforme e moto vario. . . . . » 16
Leggi del moto uniformemente accelerato . . » 17
Equilibrio . . . . » 19
Composizione delle forze. » 20
Coppie . . . . » 27
Momenti di rotazione delle forze. . . . . » *ivi*
Forza centripeta e forza centrifuga . . . . . . » 29
Comunicazione del moto. » 32
4.° *Macchine*
Leva. . . . . » 38
Sistema di leve. . . . . » 41
Puleggia . . . . » 42
Sistema di pulegge . . . » 46
Taglie e polispasti. . . . » 47
Tornio . . . . » 48
Piano inclinato e vite . . » 51
Cuneo . . . . » 52
Considerazioni sopra le macchine in generale . » 54

DEI GRANDI AGENTI DI NATURA.

1.° Attrazione.

1.° *Gravitazione o attrazione a distanza* . . . . Pag. 57
2.° *Gravità* . . . . » 60
Direzione della gravità . » 62
Centro di gravità. . . . » 63
Peso . . . . » 64
Determinazione del centro di gravità. . . . . . » *ivi*
Condizioni di equilibrio dei corpi gravi . . . . » 68
La gravità agisce egualmente sopra tutti i corpi. . . . . » 72
Determinazione del peso dei corpi. . . . . . . » 74
Densità o peso specifico. » 77
Condizioni di equilibrio dei corpi sul piano inclinato . . . . » 78
Condizioni di equilibrio nella vite. . . . . . . » 82
Leggi della caduta dei corpi. . . . . » 83
Caduta de' gravi per le linee curve . . . . . » 88
Pendolo . . . . » 89
Leggi del movimento del pendolo . . . . » 91
Misura della intensità della gravità col pendolo. » 95
Applicazione del pendolo alla dimostrazione sperimentale della rotazione della terra. . . . . » 98
3.° *Attrazione molecolare.*
Coesione . . . . » 103
Adesione . . . . » 104

Fenomeni di capillarità . Pag. 106
Leggi dell'inalzamento dei liquidi nei tubi capillari . . . . » 107
Attrazioni e repulsioni prodotte dalla capillarità. . . . . » 111
Effetti diversi della capillarità. . . . . » 112
Cenni relativi alla teoria dei fenomeni capillari . » 113
Endosmosi . . . . » 115
4.° *Differente stato della materia* . . . . » 117
1.° *Proprietà dello stato solido.*
Cristallizzazione . . . » 119
Elasticità. . . . . . . » 120
Elasticità dei fili e delle lamine tese nel verso della loro lunghezza. » 124
Elasticità di torsione . » 125
Influenza dell'elasticità nell'urto dei corpi. . » 126
Duttilità . . . . » 129
Tenacità . . . . » 130
Durezza . . . . » 131
2.° *Proprietà dello stato liquido de'corpi.*
Mobilità, compressibilità ed elasticità dei liquidi . . . . » 132
Principio d'eguaglianza di pressione . . . . » 135
Equilibrio di una massa liquida non sottoposta ad alcuna azione estranea . . . . . . » 136
Equilibrio dei liquidi pesanti. . . . . » 137
Pressioni esercitate dalle masse liquide . . » 139
Equilibrio dei liquidi ne'vasi comunicanti . » 144
Equilibrio dei corpi immersi. . . . . » 146
Determinazione del peso specifico dei corpi solidi e liquidi. . . . . . . » 149
Areometri . . . . . . » 152
Idrodinamica.
Movimento di un liquido nell' interno del recipiente durante l'efflusso . . . . . » 155
Efflusso dagli orifizj di sottili pareti, e costituzione della vena liquida . . . . » *ivi*
Velocità dello scolo dagli orifizj delle pareti sottili . . . . Pag. 157
Tubi addizionali e loro influenza sull'efflusso. » 161
Scolo nei canali. . . . . » 162
Reazione prodotta in un vaso per lo scolo del liquido che contiene. » 163
Unità di misura nella distribuzione delle acque . . . . » 164
3.° *Proprietà dello stato gassoso dei corpi.*
Peso e densità dei gas. » 165
Forza espansiva dei gas » 167
Compressibilità dei gas. » 169
I gas trasmettono egualmente le pressioni in tutti i sensi. . . . . » 170
Condizioni di equilibrio dei gas . . . . » *ivi*
Misura della pressione atmosferica. . . . . » 172
Barometro . . . . . . » 174
Costruzione del barometro . . . . » 176
Varie specie di barometri. . . . . » 179
Variaz. del barometro . » 180
Rapporto tra il volume e la forza elastica dei gas. . . . . » 181
Limiti della legge di Mariotte . . . . . . » 183
Coercibilità e liquefazione dei gas. . . . » *ivi*
Manometri . . . . . . » 186
Applicazione del barometro alla misura delle altezze . . . . » 188
Equilibrio dei corpi immersi nei gas. . . . » 194
Globi areostatici . . . » 195
Movimenti comunicati ai corpi gassosi; ventilatori e macchine soffianti. . . . . . . » 196
Scolo dei gas compressi; gasometri. . . . » 199
Reazione prodotta dallo scolo dei gas . . . . » 201
Influenza della pressione atmosferica sull'efflusso dei liquidi . . » 202
Sifone . . . . » 203
Lampade a livello costante . . . . » 205
Vaso di Mariotte . . . » *ivi*
Fontana intermittente . » 206

5.° *Macchine più importanti, il giuoco delle quali è fondato sulle proprietà dell'aria.*
Macchine per la dilatazione dell'aria. . . . . Pag. 206
Macchina pneumatica . . » 208
Macchine per comprimer l'aria. . . . . » 210
Fontana di Erone. . . . » 212
Fontana di compressione. » 213
Trombe . . . . » *ivi*
Pressa idraulica. . . . . » 216
Strade ferrate atmosferiche . . . . » *ivi*
Applicazione dell' aria compressa come forza motrice. . . . . » 219

2.° Calorico.

1.° *Dilatazione.*
Temperatura . . . . . . » 224
Principj del termometro a mercurio . . . . » *ivi*
Costruzione del termometro . . . . » 229
Termometro ad alcool. . » 230
Varie scale dei termometri. . . . . » *ivi*
Termometrografi . . . . » 231
Termometro a massimo ed a minimo di Walferdin . . . . » 232
Pirometri. . . . . » 234
Termoscopi. . . . . . . » 236
Cenni storici intorno all'invenzione del termometro . . . . » 237
Misura della dilatazione dei solidi. . . . . . . » *ivi*
Coefficiente di dilatazione. » 238
Applicazioni della dilatabilità dei metalli . . . » 241
Misura della dilatazione dei liquidi . . . . . . » 244
Differente dilatabilità dei liquidi . . . . » 247
Massimo di densità dell'acqua. . . . . » 248
Misura della dilatazione dell'aria e dei gas. . . » 249
Termometro ad aria. . . » 253
Movimenti dell'aria prodotti dal calore. . . . » 255
Ventilazioni fondate sopra le correnti d'aria prodotte dal disequilibrio di temperatura. . » 257

2.° *Cambiamento di stato.*
Fusione. . . . . Pag. 258
Condizioni della fusione. » 260
Solidificazione . . . . . » 263
Passaggio dallo stato liquido all'aeriforme . . » 265
Ebullizione. . . . . . . » 267
Cause che fanno cangiare il punto di ebullizione di un liquido. . . . . » 269
Forza elastica de'vapori. » 273
Tensione massima de'vapori . . . . » 275
Forze elastiche de' vapori alle diverse temperature . . . . » *ivi*
Equilibrio di tensione tra due spazj l'uno caldo e l'altro freddo. . . . » 276
Tensioni massime del vapore acquoso alle diverse temperature comprese tra 0° e 100° . . » 277
Tensioni dei vapori, ed in particolare del vapore acquoso al di sotto di zero . . . . » 278
Forze elastiche dei vapori alle temperature di ebullizione dei liquidi da cui provengono . . » 279
Tensioni massime del vapore acqueo a temperature superiori a 100° . » 280
Densità dei vapori . . . » 283
Condensazione dei vapori. » 288
Identità dei gas e dei vapori . . . . » 289
Calorico latente dei vapori » *ivi*
Miscuglio dei vapori coi gas. . . . . » 291
Condensazione dei vapori mescolati ai gas. . . . » 295
Fenomeni di calefazione. » 296
Evaporazione. . . . . . » 298
Freddo prodotto dall'evaporazione. . . . . . . » 300
Igrometria . . . . » 302
Applicazioni del vapore. » 310
Principj generali delle macchine a vapore . . » *ivi*
Caldaie a vapore . . . . » 316
Apparecchi di sicurezza delle caldaie a vapore. » 318
Delle macchine a vapore fisse . . . . » 321
Macchine ad alta pressione. . . . . » 328
Misura degli effetti delle macchine a vapore . . » 329

Macchine locomotive. . . Pag. 329
Impiego del vapore come mezzo di riscaldamento. » 335
3.° *Propagazione del calore.*
Propagazione del calore per irraggiamento. . . » 336
Leggi sulla intensità del calorico raggiante . . . » 337
Velocità del calorico raggiante . . . . » 339
Riflessione del calorico raggiante . . . . » 340
Potere emissivo o irraggiante dei corpi. . . . » 343
Principio dell' equilibrio mobile di temperatura. » 345
Influenza della natura della superficie dei corpi sull' emissione del calorico raggiante . . . » 345
Potere riflettente dei corpi . . . . » 346
Potere assorbente dei corpi. . . . . » 347
Potere diffusivo dei corpi . . . . » 348
Influenza della natura della sorgente calorifica sulla facoltà assorbente dei corpi . . . . » *ivi*
Trasmissione del calorico raggiante attraverso i solidi e i liquidi . . . » 350
Corpi atermani e diatermani. . . . . » 351
Teoria del Melloni sulla costituzione dei raggi calorifici . . . . » 354
Propagazione del calore attraverso i solidi. . . » 356
Propagazione del calore attraverso i liquidi . . » 360
Propagazione del calore attraverso i gas. . . . » 363
Legge del raffreddamento dei corpi . . . . » *ivi*
4.° *Calorimetria.*
Calori specifici o capacità calorifiche dei solidi e dei liquidi . . . . . . Pag. 367
Capacità calorifiche dei gas. . . . . » 370
5.° *Sorgenti del calorico.*
1.° *Sorgenti accidentali* . » 376
Percussione. . . . . . . » *ivi*
Confricazione . . . . . » 377
Compressione . . . . . » *ivi*
Cambiamento di stato . » *ivi*
Azioni chimiche. . . . » 378
Azioni chimiche producenti freddo e miscugli frigorifici . . . . » 380
Calore animale . . . . » 383
2.° *Sorgenti permanenti* . » 384
Sole . . . . » *ivi*
Stelle fisse . . . . . . » 385
Calor terrestre . . . . » 386
6.° *Fenomeni meteorologici dovuti al calore*
Effetti generali prodotti dal calor solare, dal calor terrestre e dal calore delle stelle fisse . » *ivi*
Temperatura media di un luogo. . . . . » 391
Temperatura media alle differenti latitudini e linee isoterme . . . . . » 393
Climi per ciò che dipende dalla temperatura . » 394
Temperature a differenti altezze al di sopra del suolo . . . . » 395
Nevi perpetue . . . . . » 396
Variazioni della pressione atmosferica . . . . . . » 397
Venti. . . . . » 399
Nebbie e Nubi . . . . . » 403
Pioggia. . . . . » 405
Neve. . . . . » 407
Rugiada e brina. . . . . » *ivi*
Aggiunte al 1.° volume . » 409

FINE DEL PRIMO VOLUME.

ERRATA-CORRIGE

Pag.	lin.	ERRORI	CORREZIONI
19.	7.	eguale vt	eguale a vt
190.	33.	$PP'' - P'P'' = \frac{2}{P'} - P'P''$	$PP'' - P'P'' = P'^2 - P'P''$
»	34.	$PP'' = \frac{2}{P'}$	$PP'' = P'^2$
244.	21.	orizzontale BC, nei quali	orizzontale BC (*Tavola* VI, *Figura* 180*bis*), nei quali
343.	2.	al fuoco dello specchio M	al fuoco dello specchio MN

Alle Figure 30 e 59 della Tavola II, si sostituiscano le seguenti
La Figura 243 appartiene alle aggiunte del presente volume.

Fig. 59.

Fig. 30.

Fig. 243

ig. 4.

B F E
A
B F E

Fig. 5.

R
A
E

Fig.

y z C

Fig. 11.

z R A B x

Fig. 2

A

B D

Lit. Toscana a Firenze

96
98
97
107
108
109
115
127
123
120
A
B
C
D
M
m
p
n
a
v
h
N°1
N°2
N°3
N°4
s
b
c
N

136.
137.
143.
147.
155.
156.
166.
165.

Lit. Toscana a Firenze

Tav VII.

222.
221.
228.
232.
229
237.
239.
240.
242.